

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Підвищення експлуатаційних характеристик вала методами
поверхневого зміцнення»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи M-111м

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технологія машинобудування

Єршомін Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Козлова О.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Матюхін А.Ю.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний
Кафедра Технологія машинобудування
Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Технологія машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри С.І.Дяда

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Єрьоміна Дмитра Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) _____

Підвищення експлуатаційних характеристик вала методами поверхневого зміцнення

керівник проекту (роботи) к.т.н., доц. Козлова О.Б.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, ім'я звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» листопада 2022 року №374

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 02.12.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) робоче креслення деталі; програма випуску N=2000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина; 2. Конструкторська частина; 3. Автоматизація; 4. Розрахунок деталі на міцність; 5. Спеціальне завдання; 6. Економічне обґрунтування вибору варіанта операції; 7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення деталі, заготовки; 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; зображення обробки для верстата з ЧПК; лист автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосування; лист розрахунку деталі на міцність; креслення спецзавдання.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	к.т.н., доц. Козлова О.Б.		
7	к.т.н., доц. Шьмірко В.І.		
нормоконтроль	к.т.н. доц. Дядя С.І.		
6	к.т.н., доц. Пухальська Г.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	22.09.2022	
2	Конструкторська частина	08.10.2021	
3	Автоматизація	15.10.2022	
4	Розрахунок на міцність	22.10.2022	
5	Спецзавдання	05.11.2022	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності	12.11.2022	
7	Охорона праці	26.11.2022	
8	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2022	
9	Нормоконтроль і рецензія	10.12.2022	
10	Захист дипломного проекту	15.12.2022	

Студент _____ Єрьомін Д.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Козлова О.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 107 с., 29 рис., 11 табл., 3 додатки, 17 джерел.

ВАЛ, ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, МАРШРУТ ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження – вал.

Мета роботи – вдосконалення технологічного процесу виготовлення валу, щодо підвищення його експлуатаційних характеристик методом поверхневого зміцнення поверхонь.

Методи дослідження – розрахунково–аналітичний.

В дипломному проєкті вдосконалено технологічний процес виготовлення валу за рахунок об'єднання операцій на багатоцільовому верстаті з ЧПК і використання сучасного продуктивного обладнання та оснастки, розраховано режими різання, норми часу, розроблено керуючу програму для операцію з ЧПК, спроєктовано робоче та запропоновано контрольне пристосування, досліджено міцносні характеристики деталі, передбачено економічні ризики виробництва, розглянуто та розраховано пропозиції, щодо охорони праці.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	7
ВСТУП	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	9
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	10
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	11
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі	15
1.4.1 Вибір технологічних баз.....	15
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	16
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	19
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	23
1.6 Розрахунок режимів різання	28
1.6.1 Операція 010 – токарна з ЧПК.....	28
1.6.2 Операція 080 – шліфувальна.....	33
1.6.3 Операція 035 – фрезерна	36
1.6.4 Операція 085 – шліфувальна.....	38
1.7 Технічне нормування операцій.....	41
1.7.1 Технічне нормування токарної операції 010	41
1.7.2 Технічне нормування шліфувальної операції 080	43
1.7.3 Технічне нормування фрезерної операції 035.....	45
1.7.4 Технічне нормування шліфувальної операції 085	46
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК	48
1.8.1 Розробка керуючої програми на токарну операцію №010.....	48
1.8.2 Операція 035 – фрезерна	54
1.8.3 Операція 030 – фрезерна	56
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	59
2.1 Проектування робочого пристосування	59
2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування.....	59

2.1.2	Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.....	60
2.1.3	Розрахунок необхідного сили затиску. Вибір приводу.....	65
2.2	Проектування контрольного пристосування.....	70
2.2.1	Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування	70
3.	АВТОМАТИЗАЦІЯ	71
3.1	Автоматизація та механізація токарної обробки	71
4	РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ ДЕТАЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ МІЦНОСНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО ПАКЕТУ	77
5	СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.....	80
5.1	Основні шляхи підвищення довговічності шліцьових з'єднань.....	80
6	ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ	86
7	ОХОРОНА ПРАЦІ	91
	ВИСНОВКИ.....	98
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	99
	ДОДАТОК А.....	101
	ДОДАТОК Б Специфікація робочого пристосування.....	103
	ДОДАТОК В Специфікація контрольного пристосування	106

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КГШП – кривошипно–гарячештампувальний прес

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

ТП – технологічний процес

ТО – термічна обробка

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

Сукупність методів та прийомів виготовлення машин, вироблених протягом тривалого часу і використовуваних у певній галузі виробництва, становить технологію цієї галузі. Це викликає необхідність розглядання та вирішення питань підвищення експлуатаційних характеристик деталей та вузлів завдяки взаємодії верстата, пристосування, різального інструменту та оброблюваної деталі, а також побудові найбільш раціональних, тобто найбільш продуктивних та економічних технологічних процесів обробки деталей машин. [1].

При розробці технологічних процесів виготовлення деталей машин необхідно враховувати основні напрямки в сучасній технології машинобудування. А саме прагнути наближення заготовок за формою, розмірами і якістю поверхонь до готових деталей, що дає можливість зменшити витрату матеріалу, значно знизити трудомісткість обробки деталей на металорізальних верстатах, а також зменшити витрати на різальні інструменти, електроенергію тощо [1, 2].

Застосування прогресивних високопродуктивних методів обробки, що забезпечують високу точність і якість поверхонь деталей машини, методів зміцнення робочих поверхонь, що підвищують ресурс роботи деталі і машини в цілому, ефективне використання автоматичних і поточкових ліній, верстатів з ЧПК – все це спрямовано на вирішення головних завдань: підвищення ефективності виробництва і якості продукції.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

У механічних передачах, різних вузлах машин містяться вали, призначені для підтримки обертових елементів машин. Вали являють собою ланки механізму, що передають крутні моменти, тому крім вигину зазнають ще і кручення.

Деталь «Вал» (рис. 1.1) входить у вузол «Редуктор», яка у свою чергу є частиною лебідки. Вал є суттєвою частиною редуктора лебідки та передає крутний момент з двигуна, за допомогою відповідної передачі, на барабан з тросом. Лебідка призначена для підйому антени радіолокаційної станції.

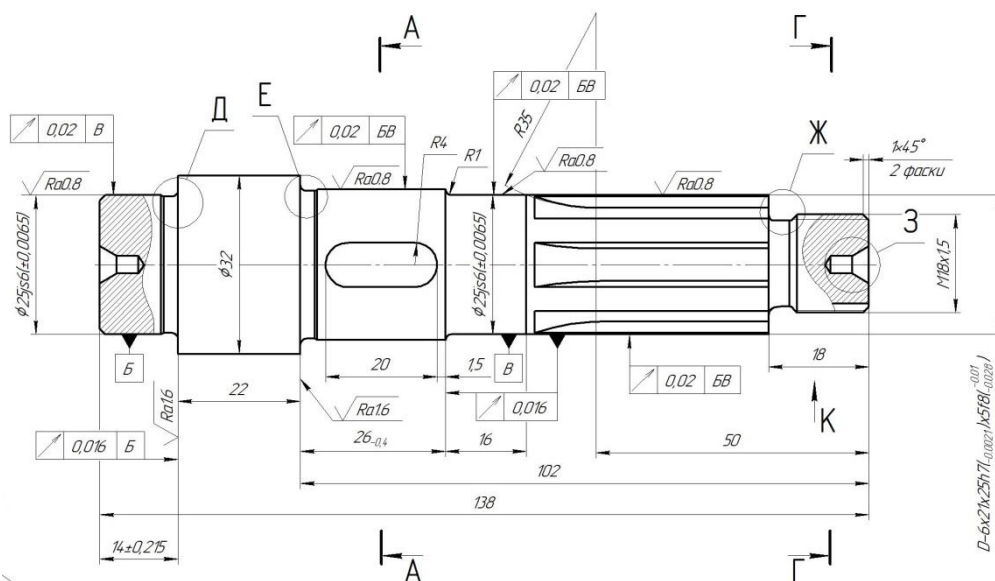


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі

Матеріал деталі – конструкційна сталь 40Х (табл. 1.1). Це сталь, оброблена тиском, володіє необхідними механічними властивостями, особливо в'язкістю, що дозволяє матеріалу добре чинити опір динамічним навантаженням. А також цей матеріал володіє доброю щільністю, що дозволяє чинити опір змінним навантаженням тривалий час.

Технічні вимоги до деталей:

- твердість – 28...32 HRC;
- термічна обробка – гартування, відпал;
- покриття – Хім. Окс.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40X [1]

C	Si	Mn	Ni	Cr	Fe	S	P
0,36...0,44	0,17...0,37	0,5...0,8	<0,3	0,8...1,1	основа	<0,035	<0,035

Фізичні властивості сталі 40X [1]:

- щільність – 7870 кг/м³;
- межа міцності при розтягуванні – 980 МПа;
- межа плинності – 785 МПа;
- відносне подовження – 14%;
- Ударна в'язкість – 590 кДж/м².

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Визначення типу виробництва та форми організації робіт виконуємо на основі маси деталі та програми випуску згідно методики [2]. Так як маса деталі дорівнює 0,53 кг, а річна програма випуску – 2000 штук, згідно таблиці 1.2 тип виробництва можна визначити як серійний.

Форми організації робіт згідно [3] залежить від встановленого порядку виконання операцій технологічного процесу (ТП), кількості партії оброблюваних деталей (n), розміщення верстатів тощо. Для обробки заданої деталі обираємо поточну форму організації робіт.

Таблиця 1.2 – Тип виробництва [2]

Тип виробництва	Кількість оброблених деталей на рік		
	важкі, $m > 100$ кг	середні, $m = 10 \dots 100$ кг	легкі, $m < 10$ кг
одиничне	до 5	до 10	до 100
дрібносерійне	5...10	10...200	100...500
серійне	100...300	200...500	500...5000
крупносерійне	300...1000	500...5000	5000...50000
масове	більше 1000	більше 5000	більше 50000

Кількість партії оброблених деталей:

$$n = \frac{\alpha \cdot N}{A}, \text{ шт} \quad (1.1)$$

де N – річна програма випуску, шт;

α – періодичність запуску партій деталей в виробництво;

A – кількість робочих днів на рік.

$$n = \frac{3 \cdot 2000}{250} = 24 \text{ шт.}$$

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Згідно аналізу креслення деталі, маси, матеріалу та технологічних вимог до виготовлення, програми випуску заготовку можна отримати наступними методами:

- штампуванням на кривошипному гарячештампованому пресі (КГШП);
- штампуванням на молоті.

Ескізи заготовок отриманих методом штамповки на молоті та КГШП

наведений на рис. 1.2, 1.3.

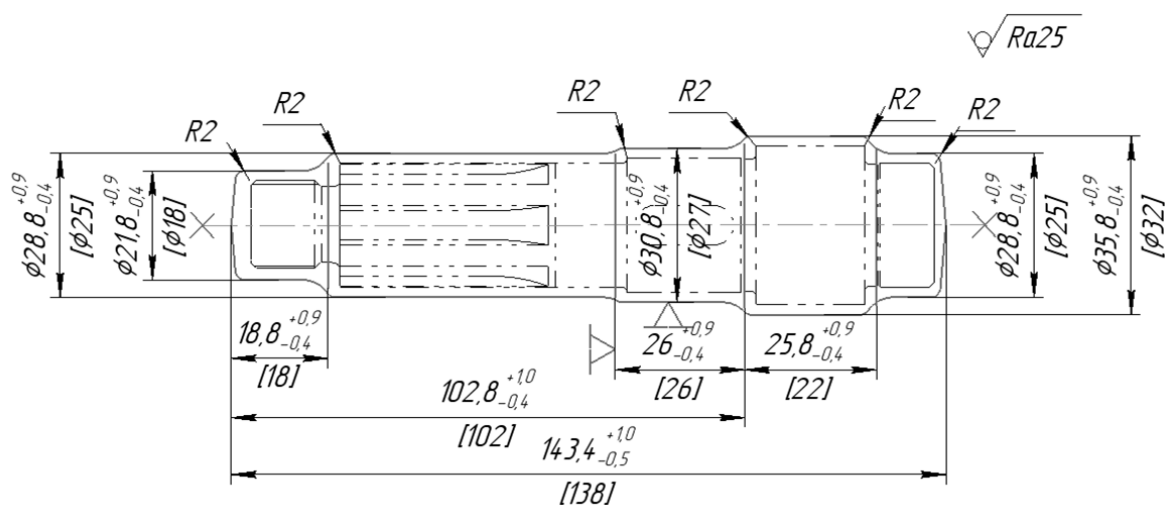


Рисунок 1.2 – Ескіз заготовки, що отримується на КГШП

Для штампованої заготовки згідно рекомендацій [4] встановлюємо наступні характеристики:

- клас точності – Т2;
- група сталі – М2;
- ступінь складності – С1;
- нахили для зовнішніх поверхонь – 5°;
- зовнішні радіуси заокруглень – 2 мм, внутрішні радіуси заокруглень –

6 мм.

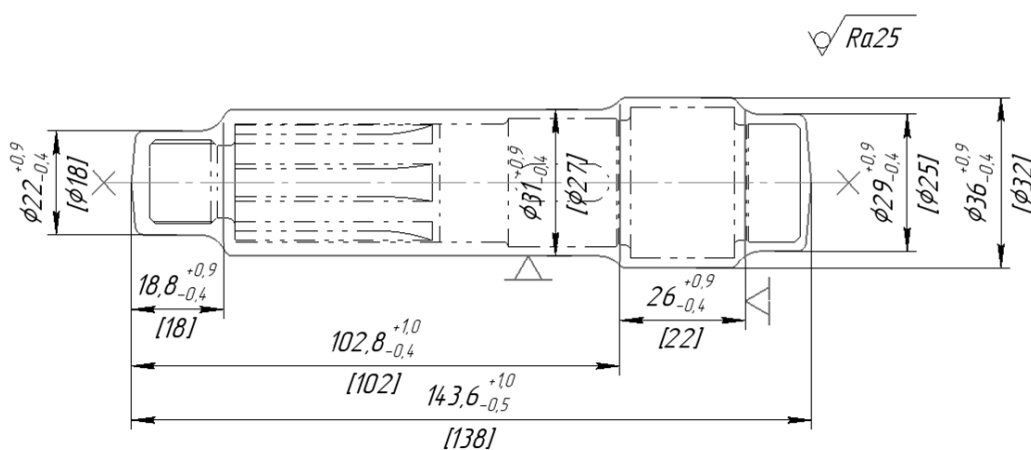


Рисунок 1.3 – Ескіз заготовки, що отримується на молоті

Припуски на всі поверхні штамповки приймаються в залежності від їх маси згідно [5]: для КГШП – 1,9...2,5 мм; для молота – 2,0...2,6 мм.

Маси заготовок (табл. 1.3) визначаємо за допомогою програмного забезпечення Компас–3D шляхом виміру масово–центровочних характеристик (Додаток А).

Для техніко–економічне обґрунтування методу отримання заготовок оцінимо собівартість їх виготовлення. Собівартість виготовлення однієї заготовки B , грн, розраховується за формулою:

$$B = \frac{B_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_{II} - (Q - q) \frac{B_{\text{відх}}}{1000}, \quad (1.2)$$

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

B_B – базова собівартість виготовлення 1 т заготовки заготовок, грн. [5];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [5];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [5];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [5];

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [5];

K_{II} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [5];

$B_{\text{відх}}$ – вартість 1 т стружки [5].

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{3500}{1000} \cdot 0,77 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (0,77 - 0,53) \cdot \frac{140}{1000} = 3,94 \text{ грн}$$

$$B_M = \frac{3500}{1000} \cdot 0,83 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (0,83 - 0,53) \cdot \frac{140}{1000} = 4,24 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (1.3)$$

$$\eta_{\text{КГШП}} = \frac{0,53}{0,77} = 0,69.$$

$$\eta_{\text{М}} = \frac{0,53}{0,83} = 0,66.$$

Порівняльні показники обраних методів заготовки заносяться в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати розрахунків показників економічного вибору заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			КГШП	Молот
Вага заготовки	Q	кг	0,77	0,83
Базова вартість 1 т заготовки	B_B	грн	3500	3500
Коефіцієнти	K_T		1,0	1,0
	K_M		1,51	1,51
	K_C		0,77	0,77
	K_3		1,27	1,27
	K_{Π}		1,0	1,0
Вартість 1 т стружки	$B_{\text{відх}}$	грн	140	140
Собівартість виготовлення заготовки	B_3	грн	3,94	4,24
Коефіцієнт використання матеріалу	η		0,69	0,66

Річні заощадження за вартістю виготовлення заготовок розраховується за формулою:

$$E_B = (B_M - B_{\text{КГШП}}) \cdot N, \quad (1.4)$$

де N – річна програма випуску, шт.

$$E_B = (4,24 - 3,94) \cdot 2000 = 600 \text{ грн}$$

Річні заощадження витрат матеріалу розраховується за формулою:

$$M_e = \frac{q(\eta_{\text{КГШП}} - \eta_M)}{\eta_{\text{КГШП}} \cdot \eta_M} \cdot N \quad (1.5)$$

$$M_e = \frac{0,53 \cdot (0,69 - 0,66)}{0,69 \cdot 0,66} \cdot 2000 = 69,8 \text{ кг}$$

В якості оптимального методу отримання заготовки обираємо штампування на КГШП, тому що коефіцієнтом використання матеріалу при цьому буде вищим, а собівартість виготовлення меншою в порівнянні з заготовкою отриманою штампуванням на молоті.

1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

1.4.1 Вибір технологічних баз

Базою називається поверхня, вісь, точка деталі стосовно яких орієнтуються інші деталі або поверхні деталі, що обробляються. Технологічна база визначає положення деталі під час обробки. Технологічні бази поділяються на установочні та вимірювальні.

Установочні бази – поверхні (лінії, точки), що служать для встановлення заготовки на верстаті та орієнтують її щодо ріжучого інструменту. Установочні бази поділяються на основні та допоміжні. Основні установочні бази – це поверхні, які орієнтують заготовку на верстаті. Допоміжні установочні бази – це поверхні, які використовують лише для встановлення заготовок на верстаті. Вимірювальна база – поверхня (лінія, точка), від якої здійснюють відлік розмірів.

В якості чорнових баз, на першій токарній обробці, обираємо зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 27k6$ та лівий торець $26_{-0,4}$ (рис. 1.1), тому що використання цих баз забезпечує найменшу похибку установки, так як бази мають достатню площу поверхні і відносну точність форми (відсутні задирки, зміщення).

В процесі токарної обробки готують проміжні бази: центрові отвори, зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 32$ та $\varnothing 25$, крайні торці. Ці бази збігаються з конструкторськими базами та використовуються для чистової обробки. Дані бази будуть використані для подальшої обробки: шліфувальної, фрезерної. При такому виборі чистових баз забезпечується більша точність обробки, оскільки суміщені установочні та вимірювальні бази. Протягом усього технологічного процесу для механічних операцій зберігається принцип сталості баз, що забезпечує точність обробки.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхні (МОП) містить кількість технологічних переходів, послідовність цих переходів, способи обробки поверхонь. Для спрощення проектування МОП проведемо нумерацію поверхонь деталі (рис. 1.4).

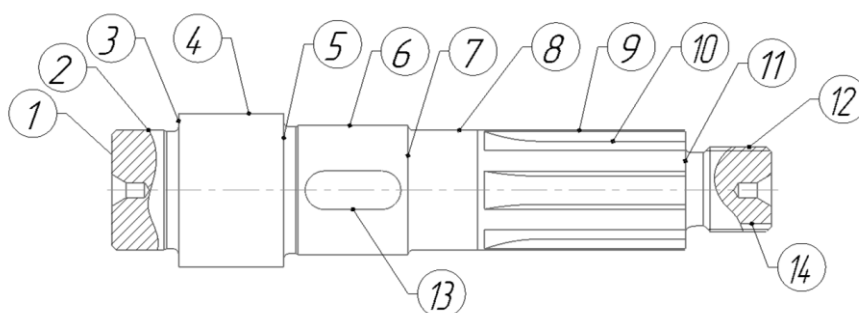


Рисунок 1.4 – Технологічна розмітка поверхонь деталі

Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні розраховується за формулами:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (1.6)$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (1.7)$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (1.8)$$

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Поверхня 2 – $\text{Ø}25js6(\pm 0,0065)$:

$$\varepsilon_d = \frac{1,3}{0,013} = 100;$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{25}{0,8} = 31,2;$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{0,5}{0,02} = 25;$$

Кількість переходів розраховується по превалюючому показнику за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (1.9)$$

$$k = 2 \cdot \lg 100 = 4$$

Приймаємо $k=4$ переходи. Визначаємо різницю показників якості та розподіляємо цю різницю між $k=4$ переходами за законом прогресивного зменшення: $IT=IT17-js6=11=5+2+2+2$.

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

- 1) Для допуску – $IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h10 \rightarrow TO \rightarrow h8 \rightarrow js6$;
- 2) Для шорсткості – $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow TO \rightarrow Ra1,6 \rightarrow Ra0,8$.

МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння чистове, шліфування чорнове, чистове шліфування.

Перший перехід – точіння чорнове: $T_{D1}=210$ мкм; $T_{Ra1}=6,3$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d1} = \frac{1300}{210} = 6,2;$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{25}{6,3} = 3,9.$$

Другий перехід – точіння чистове: $T_{D2}=84$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{210}{84} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{6,3}{3,2} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 6,2 \cdot 2,5 = 15,5 < \varepsilon_d = 100;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 3,9 \cdot 2 = 7,8 < \varepsilon_{Ra} = 31,2.$$

Четвертий перехід – шліфування чорнове: $T_{D4}=33$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d4} = \frac{84}{33} = 2,6;$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{3,2}{1,6} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 15,5 \cdot 2,6 = 40,3 < \varepsilon_d = 100;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 7,8 \cdot 2 = 15,6 < \varepsilon_{Ra} = 31,2.$$

П'ятий перехід – чистове шліфування: $T_{D5}=13$ мкм; $T_{Ra5}=0,8$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d5} = \frac{33}{13} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra5} = \frac{1,6}{0,8} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 40,3 \cdot 2,5 = 100,7 \geq \varepsilon_d = 100;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 15,6 \cdot 2 = 31,2 \geq \varepsilon_{Ra} = 31,2.$$

Таким же методом робимо розрахунки і для інших поверхонь. Отримані дані заносимо до таблиці 1.4.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі вирішують головне завдання технології – забезпечити необхідну якість, максимальну продуктивність, мінімальну собівартість та мінімум шкідливих впливів на навколишнє середовище. Технологічні основи розв'язання цієї задачі

закладаються при призначенні переходів маршрутів обробки поверхонь, а організаційні основи – для формування операцій маршруту виготовлення деталі (МВД). При призначенні переходів МОП закладаються способи впливів на поверхню, на заготовку, а формуванні операцій МВД закладаються засоби впливу на заготовку, технологічне устаткування, ріжучий інструмент тощо. Технологічний процес виготовлення деталі можна розділити на етапи: заготівельний, чорновий, напівчистовий, чистовий, фінішний та доводочний. Складаємо загальну етапну схему виготовлення деталі – етапний маршрут виготовлення деталі:

- 1) I етап – отримання заготовки, термічна обробка (ТО);
- 2) II етап – механічна обробка:
 - токарна обробка (чорнова, чистова);
 - шліцефрезерна обробка;
 - фрезерна обробка;
- 3) III етап – ТО;
- 4) IV етап – механічна обробка:
 - шліфування (чорнова, чистова);
- 5) V етап – мийка, контроль.

Графічне зображення маршруту виготовлення деталі «Вал» наведено в на кресленні НУЗП 715003.001.

Таблиця 1.4 – Маршрут обробки поверхонь деталі

Характер поверхні	Показники	Уточнення	Кількість переходів		Різниця показників ППТЯ	МОП		Параметр по переходам		Уточнення	
			розр	прийн		i	Метод обробки	допуск розміру	шорсткість	розміру	шорсткості
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зовнішня циліндрична поверхня 2 Ø25js6(±0,0065) Ra0,8	Td	100	4	4	$\Delta IT = IT17 - js6 = 11$ IT17 → h12 → h10 → h8 → js6 Ra25 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6 → Ra0,8	1	Заготовка–штампівка	1300	25	–	–
						2	Точіння чорнове	210	6,3	6,2	3,9
	3	Точіння чистове	84	3,2		2,5	2				
	4	Термічна обробка	–	–		–	–				
	5	Шліфування чорнове	33	1,6		2,6	2				
	6	Шліфування чистове	13	0,8		2,5	2				
Зовнішня циліндрична поверхня 6 Ø27k6 Ra0,8	Td	100	4	4	$\Delta IT = IT17 - k6 = 11$ IT17 → h12 → h10 → h8 → k6 Ra25 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6 → Ra0,8	1	Заготовка–штампівка	1300	25	–	–
						2	Точіння чорнове	210	6,3	6,2	3,9
	3	Точіння чистове	84	3,2		2,5	2				
	4	Термічна обробка	–	–		–	–				
	5	Шліфування чорнове	33	1,6		2,6	2				
	6	Шліфування чистове	13	0,8		2,5	2				

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Зовнішня циліндрична поверхня 4 Ø32h14 Ra6,3	Td	2,1	1,2	2	$\Delta IT = IT17 - h14 = 3$ IT17 → h14 → h14	1	Заготовка–штамповка	1300	25	–	–	
						2	Точіння чорнове	620	12,5	2,1	2	
	Ra	3,9					3	Точіння чистове	620	6,3	1	2
							4	Термічна обробка	–	–	–	–
Зовнішня циліндрична поверхня 9 Ø25h7 Ra0,8	Td	61,9	3,6	4	$\Delta IT = IT17 - h7 = 11$ IT17 → h12 → h10 → h8 → h7	1	Заготовка–штамповка	1300	25	–	–	
						2	Точіння чорнове	210	6,3	6,2	3,9	
	Ra	31,2					3	Точіння чистове	84	3,2	2,5	2
							4	Термічна обробка	–	–	–	–
							5	Шліфування чорнове	33	1,6	2,6	2
							6	Шліфування чистове	21	0,8	1,6	2

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Припуск – це шар матеріалу, що містить різні дефекти, не допустимі за умовами службового призначення, і який необхідно усунути з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей поверхні, що обробляється. Припуск слід розглядати як компенсатор похибок попередніх переходів [6].

Розрахунково–аналітичним методом визначим припуски для зовнішньої циліндричної поверхні 2 – Ø25js6(±0,0065):

1) для заготовки: $Rz_1 = 160$ мкм та $h_1 = 200$ мкм [6];

Просторові відхилення заготовки розраховують за формулою:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (1.10)$$

де $\rho_{зм}$ – відхилення від співвісності [6];

$\rho_{кор}$ – похибка від короблення.

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (1.11)$$

де $\Delta_{кор}$ – кривизна поковки [6].

$$\rho_{кор} = 1,5 \cdot 138 = 215 \text{ мкм};$$

$$\rho_1 = \sqrt{0,5^2 + 0,215^2} = 0,544 \text{ мм}.$$

2) для чорнового точіння: $Rz_2=40$ мкм та $h_2=40$ мкм [6];

Просторові похибки для механічних переходів розраховуються з урахуванням коефіцієнту уточнення за формулою:

$$\rho_j = K_{ут} \cdot \rho_i, \text{ мкм} \quad (1.12)$$

де $K_{ут}$ – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки [6].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 544 = 32 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{\text{заг}}^2 + 1} \quad (1.13)$$

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{1,3^2 + 1} = 0,41 \text{ мм.}$$

3) для чистового точіння: $Rz_3 = 20 \text{ мкм}$ та $h_3 = 20 \text{ мкм}$ [6];

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 32 = 1,4 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_2 = K_{\text{ут}} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (1.14)$$

$$\varepsilon_2 = 0,04 \cdot 410 = 16,4 \text{ мкм.}$$

4) для ТО:

$$\rho_4 = \Delta_{\text{к}} \cdot L \quad (1.15)$$

де $\Delta_{\text{кор}} = 0,1 \text{ мкм/мм}$ кривизна після ТО [6].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 138 = 13,8 \text{ мкм}$$

5) для шліфування чорнового: $Rz_5 = 10 \text{ мкм}$ та $h_5 = 15 \text{ мкм}$ [6];

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (13,8 + 1,4) = 0,4 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 16,4 = 0,5 \text{ мкм.}$$

5) для шліфування чистового: $Rz_6=6,3$ мкм та $h_6=10$ мкм [6];

$$\rho_6 = 0,02 \cdot 0,4 = 0 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_6 = 0,02 \cdot 0,5 = 0 \text{ мкм}.$$

Мінімальні припуски для переходів механічної обробки розрахуємо методом розмірних ланцюгів:

$$2z_i^{\min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (1.16)$$

$$2z_2^{\min} = 2(160 + 200 + \sqrt{544^2 + 410^2}) = 2082 \text{ мкм};$$

$$2z_3^{\min} = 2(40 + 40 + \sqrt{32^2 + 16,4^2}) = 232 \text{ мкм};$$

$$2z_5^{\min} = 2(20 + 20 + \sqrt{13,8^2 + 0,5^2}) = 107 \text{ мкм};$$

$$2z_6^{\min} = 2(10 + 15 + \sqrt{0,4^2 + 0^2}) = 51 \text{ мкм}.$$

Максимальний розмір поверхні деталі – останнього переходу розраховується за формулою:

$$d_6^{\max} = d_4^{\min} + ES_{d4} \quad (1.17)$$

$$d_6^{\max} = 25 + 0,0065 = 25,0065 \text{ мм}$$

Максимальні розміри для механічних переходів розраховується за формулою:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (1.18)$$

$$d_5^{\max} = 25,0065 + 0,051 + 0,033 = 25,0905 \rightarrow 25,09 \text{ мкм};$$

$$d_3^{\max} = 25,09 + 0,107 + 0,084 = 25,281 \text{ мкм};$$

$$d_2^{\max} = 25,281 + 0,232 + 0,21 = 25,723 \text{ мкм};$$

$$d_1^{\max} = 25,723 + 2,082 + 1,3 = 29,105 \rightarrow 29,1 \text{ мм.}$$

Мінімальні розміри поверхні розраховуються за формулою:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (1.19)$$

$$d_6^{\min} = 25,0065 - 0,013 = 24,9935 \text{ мм;}$$

$$d_5^{\min} = 25,09 - 0,033 = 25,057 \text{ мм;}$$

$$d_3^{\min} = 25,281 - 0,084 = 25,197 \text{ мм;}$$

$$d_2^{\min} = 25,723 - 0,21 = 25,513 \text{ мм;}$$

$$d_1^{\min} = 29,1 - 1,3 = 27,8 \text{ мм.}$$

Мінімальні припуски розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\min} = d_{i-1}^{\min} - d_i^{\max} \quad (1.20)$$

$$2z_2^{\min} = 27,8 - 25,723 = 2,077 \text{ мм;}$$

$$2z_3^{\min} = 25,513 - 25,281 = 0,232 \text{ мм;}$$

$$2z_5^{\min} = 25,197 - 25,09 = 0,107 \text{ мм;}$$

$$2z_6^{\min} = 25,057 - 25,0065 = 0,0505 \text{ мм.}$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (1.21)$$

$$2z_2^{\max} = 29,1 - 25,513 = 3,587 \text{ мм;}$$

$$2z_3^{\max} = 25,723 - 25,197 = 0,526 \text{ мм;}$$

$$2z_5^{\max} = 25,281 - 25,057 = 0,666 \text{ мм;}$$

$$2z_6^{\max} = 25,09 - 24,9935 = 0,0965 \text{ мм.}$$

Схема розташування допусків, припусків та технологічних розмірів наведено на рис. 1.5 та табл. 1.5.

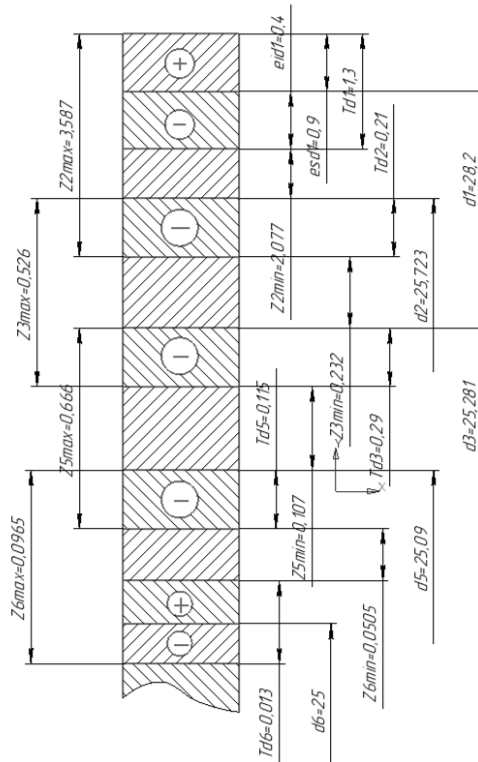


Рисунок 1.5 – Схема розташування припусків та технологічних розмірів

Перевірка правильності розрахунків виконується за формулами:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{заг}} + TD_{\text{дет}}; \quad (1.22)$$

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min}; \quad (1.23)$$

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max}; \quad (1.24)$$

$$2z_0^{\max} = 29,1 - 24,9935 = 4,1065 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\min} = 27,8 - 25,0065 = 2,7935 \text{ мм};$$

$$TD_0 = 1,3 + 0,013 = 1,313 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 4,1065 - 2,7935 = 1,313 \text{ мм}.$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 28,2_{-0,4}^{+0,9}$ мм.

Таблиця 1.5 – Припуски та міжопераційні розміри

Характеристика поверхонь	МОП		До-пуск	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуски		Виконавчий розмір
	ІТ	Метод обробки		Td, мм	d_i^{\max} , мм	d_i^{\min} , мм	$2z_i^{\max}$	
2) Ø25js6 Ra=0,8 ↑=0,02	17	Заготовка	1,3	29,1	27,8	–	–	Ø28,2 ^{+0,9} _{-0,4} Ø 25,72 _{-0,21} Ø 25,281 _{-0,084} – Ø 25,09 _{-0,033} Ø25±0,0065
	12	Точен. чорн.	0,21	25,723	25,513	3587	2082	
	10	Точен. чист.	0,084	25,281	25,197	526	232	
	–	ТО	–	–	–	–	–	
	8	Шлиф. чорн.	0,033	25,09	25,057	666	107	
	6	Шлиф. чист	0,013	25,0065	24,9935	96,5	51	
			4,1065–2,7935=1,3+0,013	1,313=1,313	4,1065	2,7935		

1.6 Розрахунок режимів різання

1.6.1 Операція 010 – токарна з ЧПК

Обробка виконується на токарному верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК) DOOSAN PUMA GT 2100. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 1.6. Операційний ескіз 10 токарної операції наведений на рис. 1.6. В якості пристосування використовується патрон трьохкулачковий.

Таблиця 1.6 – Технічна характеристика верстата

Параметри	Значення
Найбільший розмір оброблюваної деталі, мм	390
Найбільше повздовжнє переміщення супорта, мм	562
Діаметр патрона, мм	210
Крутний момент, Нм	313
Потужність привода шпинделя, кВт	18,5
Частота обертання шпинделя, хв ⁻¹	4500
Швидкість руху подачі, мм/хв	
–повздовжня	1–1200
–поперечної	0,5–600

Швидкість прискореного переміщення, м/хв, супорту	
–поздовжнього	24
–поперечного	30
Система ЧПУ	Fanuc
Позицій інструмента	12
Вага, кг	3700

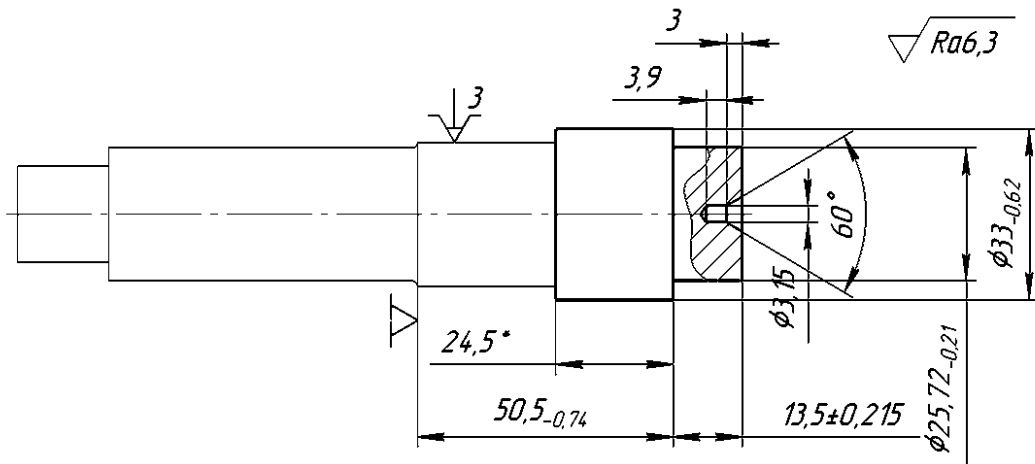


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз 10 токарної операції

Операція складається із трьох переходів:

- Перший перехід – точити крайній торець;
- Другий перехід – свердлити центрувальний отвір;
- Третій перехід – точити назовні.

Інструмент:

- 1) різець підрізний 2112–0006 $\varphi=95^\circ, \alpha=10^\circ, \gamma=8^\circ; r=1\text{мм}, 25 \times 16 \times 140$, Т15К6 ГОСТ 18880–73 [7];
- 2) свердло центрувальне 2317–0017 Р6М5 $\varnothing 3,15$ ГОСТ 14952–75 [7];
- 3) різець прохідний 2101–0014 $\varphi=95^\circ, \alpha=10^\circ, \gamma=8^\circ; r=1\text{мм}, 25 \times 16 \times 140$, Т15К6 ГОСТ 18879–73 [7].

Виконаємо розрахунок першого переходу – підрізка торця.

Припуск на обробку торця:

$$h = L_{\text{заг}} - L_{\text{дет}}, \quad (1.25)$$

де $L_{\text{заг}}$ – розмір заготовки, мм;

$L_{\text{дет}}$ – операційний розмір деталі, мм.

$$h = 15,4 - 13,5 = 1,9 \text{ мм}$$

Глибина різання t , мм розраховується за формулою:

$$t = \frac{h}{i}, \quad (1.26)$$

де h – припуск на обробку, мм;

$i=2$ – кількість проходів.

$$t = \frac{1,9}{2} = 0,9 \text{ мм}$$

Подача розраховується за формулою:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_S, \text{ мм/об} \quad (1.27)$$

де S_{0T} – табличне значення подачі мм/об [8];

K_S – поправочний коефіцієнт на подачу

$$K_S = K_{Sp} \cdot K_{Sd} \cdot K_{Si} \cdot K_{Sn} \cdot K_{Sm} \cdot K_{Sl} \cdot K_{Se} \quad (1.28)$$

де $K_{Sp} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує спосіб кріплення ріжучої пластини [8];

$K_{Sd} = 0,62$ – коефіцієнт, що враховує діаметр до обробки і після [8];

$K_{Si} = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини [8];

$K_{Sn} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні деталі [8];

$K_{Sm} = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу [8];

$K_{S\ell} = 0,74$ – коефіцієнт, що враховує відношення вильоту різця до його довжини [8];

$K_{S\varepsilon} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця [8].

$$K_S = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,74 \cdot 1,0 \cdot 0,62 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,29$$

$$S_0 = 0,68 \cdot 0,29 = 0,19 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S_0 = 0,2$ мм/об.

Швидкість різання V , м/хв розраховується за формулою:

$$V = V_m \cdot K_V \quad (1.29)$$

де V_T – табличне значення швидкості різання [8];

K_V – поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_V = K_{V_M} \cdot K_{V_{И}} \cdot K_{V_j} \cdot K_{V_0} \cdot K_{V_T} \cdot K_{V_{НВ}} \cdot K_{V_\varepsilon} \cdot K_{V_{ж}} \quad (1.30)$$

де $K_{V_M} = 0,85$ – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, [8];

$K_{V_{И}} = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, [8];

$K_{V_j} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата [8];

$K_{V_0} = 0,9$ – коефіцієнт, що враховує вид обробки [8];

$K_{V_T} = 0,7$ – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента [8];

$K_{V_{НВ}} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу [8];

$K_{V_\varepsilon} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця [8];

$K_{V_{ж}} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням [8].

$$K_V = 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,43$$

$$V = 241 \cdot 0,43 = 103 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя n , об/хв розраховується за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (1.31)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 103}{3,14 \cdot 28,2} = 1275 \text{ об/хв}$$

Приймається фактична частота обертання шпинделя верстата відповідно до паспортних даних $n_d = 1200$ об/хв.

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою:

$$V_d = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000} \quad (1.32)$$

$$V_d = \frac{1200 \cdot 3,14 \cdot 28,2}{1000} = 97 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу $L_{рх}$, мм розраховується за формулою:

$$L_{рх} = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (1.33)$$

де $l_{обр}$ – довжина обробки, мм;

$l_{вр}$ – величина врізання [8];

$l_{пер}$ – перебігу [8].

$$L_{рх} = 12,85 + 2 + 0,5 = 13,35 \text{ мм}$$

Режими різання на інші переходи розраховуються аналогічно. Результати розрахунків режимів різання за переходами наведено в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Режими різання за переходами на операцію токарну з ЧПК

Перехід	D мм	t, мм	S _o мм/об	V _д , м/хв	n _д , хв ⁻¹	ℓ _{обр} , мм	L _{рх} , мм	i, шт
1	28,2	0,9	0,2	97	1200	12,85	13,35	2
2	3,15	1,57	0,1	33,5	3300	6,9	8,9	1
3	33	0,9	0,2	124	1200	41,5	44	2

Машиний час розраховується за формулою:

$$t_o = \frac{L_{рх}}{S_o \cdot n} \cdot i, \text{ хв.} \quad (1.34)$$

$$t_{o1} = \frac{13,35}{0,2 \cdot 1200} \cdot 2 = 0,09 \text{ хв.}$$

$$t_{o2} = \frac{8,9}{0,1 \cdot 3300} \cdot 1 = 0,02 \text{ хв.}$$

$$t_{o3} = \frac{44}{0,2 \cdot 1200} \cdot 2 = 0,29 \text{ хв.}$$

$$\Sigma T_o = 0,09 + 0,02 + 0,29 = 0,4 \text{ хв.}$$

1.6.2 Операція 080 – шліфувальна

Шліфування деталі буде здійснюватися на круглошліфувальному верстаті 3У10В.

Технічні характеристики верстата:

- 1) найбільший діаметр оброблюваної заготовки – 100мм;
- 2) найбільша довжина оброблюваної заготовки – 160 мм;
- 3) частота обертання круга – 2800об/хв;
- 4) частота обертання шпинделя (безступінчаста) – 100...950 об/хв;
- 5) потужність – 1,1 кВт.

Інструмент: шліфувальний круг 1 250x30x105 15А 40Н СТ1 6 К8 А
50 м/хв ГОСТ 2424–82.

Пристосування – центр, хомутик повідковий.

Операційний ескіз зображено на рис. 1.7.

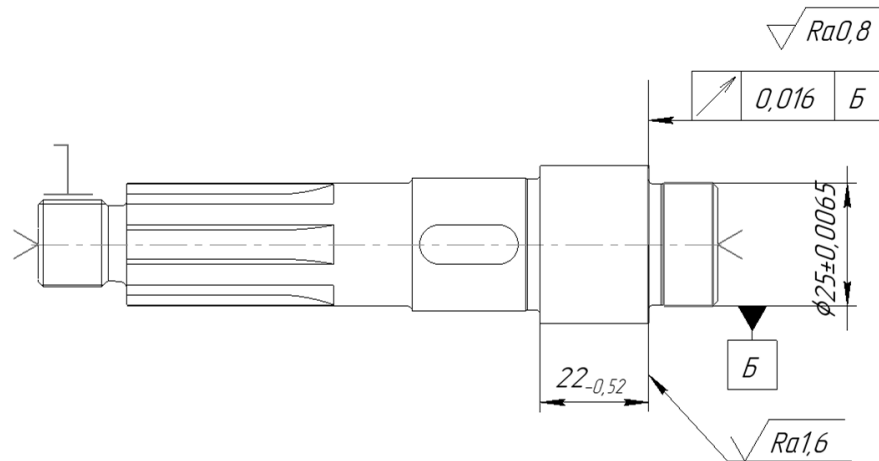


Рисунок 1.7 – Операційний ескіз

Припуск на обробку $z=0,0965$ мм (табл. 1.5).

Подача радіальна розраховуємо по формулі (1.27):

$S_T=0,008$ мм/об – табличне значення подачі [8];

$K_D=0,42$ – коефіцієнт враховуючий діаметр круга [8];

$K_R=0,85$ – поправочний коефіцієнт враховуючий радіус галтелі [8];

$K_T=1,0$ – поправочний коефіцієнт враховуючий стійкість круга [8];

$K_h=1,0$ – поправочний коефіцієнт враховуючий припуск на обробку [8];

$K_{IT}=0,5$ – коефіцієнт враховуючий квалітет виконання розміру [8];

$K_M=1,0$ – поправочний коефіцієнт враховуючий матеріал деталі [8].

$$S_{\text{поп}} = 0,008 \cdot 0,42 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,0014 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S_{\text{поп}}=0,0025$ мм/об.

Так як ширина круга більше ширини шліфування то повздовжня подача не використовується.

Табличне значення швидкості різання визначаємо за довідковою літературою [8]:

- швидкість обертання круга – $V_{ш.кр.}=45$ м/с;
- швидкість обертання деталі – $V_{ш.дет.}=50$ м/хв.

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

$$n_{ш.кр.}^p = \frac{1000 \cdot V_{ш.кр.} \cdot 60}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (1.35)$$

$$n_{дет.}^p = \frac{1000 \cdot V_{ш.дет.}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (1.36)$$

$$n_{ш.кр.}^p = \frac{1000 \cdot 45 \cdot 60}{3,14 \cdot 250} = 3439 \text{ об/хв};$$

$$n_{дет.}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 25} = 636 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстату $n_{ш.кр.}=2800$ об/хв, $n_{дет.}=600$ об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.32):

$$V_{ш.кр.} = \frac{3,14 \cdot 250 \cdot 2800}{1000 \cdot 60} = 36,6 \text{ м/с};$$

$$V_{дет.} = \frac{3,14 \cdot 25 \cdot 600}{1000} = 47 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо основний час:

$$T_0 = \frac{z \cdot k}{n_{дет.} \cdot S_{поп}}, \text{ хв} \quad (1.37)$$

де $k=1,7$ – коефіцієнт уточнення.

z – припуск під шліфування, мм.

$$T_0 = \frac{0,0965 \cdot 1,7}{600 \cdot 0,0025} = 0,13 \text{ хв.}$$

1.6.3 Операція 035 – фрезерна

Для фрезерування шпонкового пазу обираємо вертикально-фрезерний верстат моделі 6Т104.

Технічні характеристики верстата:

1) найбільше переміщення столу:

- повздовжнє – 700 мм;
- поперечне – 260 мм;
- вертикальне – 370 мм;

2) число швидкостей шпинделя – 18;

3) діапазон частот обертання шпинделя, об/хв – 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 310; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150;

4) число подач столу – 18;

5) повздовжня та поперечна подача столу, мм/хв – 12,5; 16; 18; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600;

6) повздовжня та поперечна швидкість швидких переміщень столу – 4000 мм/хв;

7) потужність двигуна – 10 кВт;

8) габаритні розміри – 1250x1205x1630 мм;

9) вага – 830 кг.

Для операції фрезерування обираємо шпонкову фрезу діаметром $D=8$ мм з числом зубців $z = 2$ та матеріалу Р6М5 за ГОСТ 9140–78 [7].

Операційний ескіз зображено на рис. 1.8.

Подачу обираємо за довідковою літературою [7]:

- повздовжня – $Sz^{\text{табл}}=0,022$ мм/зуб;
- вертикальна – $Sz^{\text{табл}}=0,007$ мм/зуб.

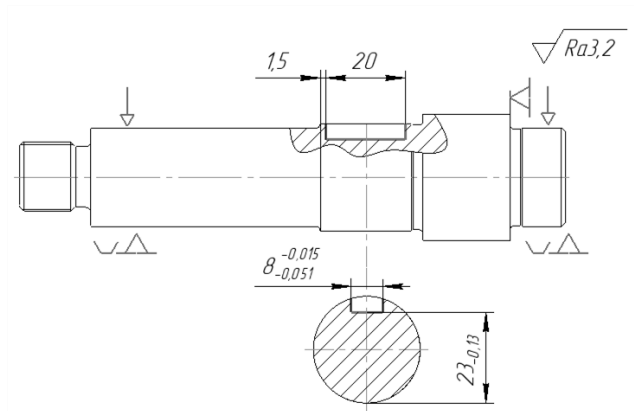


Рисунок 1.8 – Операційний ескіз

Розраховуємо швидкість різання:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D_\phi^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_{VM} \cdot K_{VII} \cdot K_{V\Pi}, \text{ м/хв} \quad (1.38)$$

де $C_v=12$, $q=0,3$, $x=0,3$, $y=0,25$, $u=0$, $p=0$, $m=0,26$ – показники ступеня [7];

K_{VM} – коефіцієнт оброблюваності матеріалу [7];

K_{VII} – коефіцієнт, враховуючий властивості матеріалу ріжучої частини інструмента [7];

$K_{V\Pi}$ – коефіцієнт, враховуючий стан поверхні заготовки [7];

T – період стійкості інструменту;

D_ϕ – діаметр фрези.

$$K_{VM} = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^n \quad (1.39)$$

$$K_{VM} = \left(\frac{750}{650} \right)^{0,9} = 1,13.$$

$$V_p = \frac{12 \cdot 8^{0,3}}{80^{0,26} \cdot 2^{0,3} \cdot 0,022^{0,25} \cdot 8^0 \cdot 2^0} \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 1 = 17,3 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.31):

$$n = \frac{1000 \cdot 17,3}{3,14 \cdot 8} = 688 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_d=630$ об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.32):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 630}{1000} = 15,8 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо хвилинну подачу інструменту за формулою:

$$S_M = S_z \cdot n \cdot z \quad (1.40)$$

$$S_{M \text{ повз}} = 0,022 \cdot 630 \cdot 2 = 27 \text{ мм/хв.}$$

$$S_{M \text{ верт}} = 0,007 \cdot 630 \cdot 2 = 8,8 \text{ мм/хв.}$$

Обираємо за паспортом верстата $S_{M \text{ повз}} = 40$ мм/хв, $S_{M \text{ верт}} = 12,5$ мм/хв.

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{x+l_1}{S_{\text{верт}}} + \frac{l-D_\phi}{S_{\text{повз}}}, \text{ хв} \quad (1.41)$$

де l – довжина фрезерування, мм;

x – глибина фрезерування, мм;

l_1 – величина врізання, мм.

$$l_1 = 0,5 \cdot D_\phi \cdot \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{2 \cdot t}{D_\phi} \right) \right), \text{ мм} \quad (1.42)$$

$$l_1 = 0,5 \cdot 8 \cdot \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{2 \cdot 4}{8} \right) \right) = 1,5 \text{ мм;}$$

$$t_o = \frac{4+1,5}{12,5} + \frac{20-8}{40} = 0,74 \text{ хв.}$$

1.6.4 Операція 085 – шліфувальна

Шліфування деталі буде здійснюватися на круглошліфувальному верстаті 3У10В.

Технічні характеристики верстата:

- 6) найбільший діаметр оброблюваної заготовки – 100мм;
- 7) найбільша довжина оброблюваної заготовки – 160 мм;
- 8) частота обертання круга – 2800 об/хв;
- 9) частота обертання шпинделя (безступінчаста) – 100...950 об/хв;
- 10) потужність – 1,1 кВт.

Інструмент: шліфувальний круг 1 250x30x105 15А 40Н СТ1 6 К8 А 50 м/хв ГОСТ 2424–82.

Пристосування – центр, хомутик повідковий.

Операційний ескіз зображено на рис. 1.7.

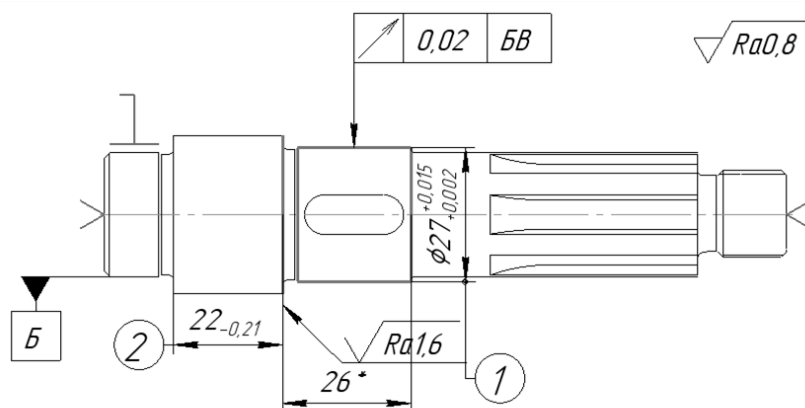


Рисунок 1.7 – Операційний ескіз

Припуск на обробку $z = 0,02$ мм [8, табл. 1.5].

Подача радіальна розраховуємо по формулі (1.27):

$S_T = 0,008$ мм/об – табличне значення подачі [8];

$K_D = 0,42$ – коефіцієнт враховуючий діаметр круга [8];

$K_R = 0,85$ – поправочний коефіцієнт враховуючий радіус галтелі [8];

$K_T = 1,0$ – поправочний коефіцієнт враховуючий стійкість круга [8];

$K_h = 1,0$ – поправочний коефіцієнт враховуючий припуск на обробку [8];

$K_{IT} = 0,5$ – коефіцієнт враховуючий квалітет виконання розміру [8];

$K_M = 1,0$ – поправочний коефіцієнт враховуючий матеріал деталі [8].

$$S_{\text{поп}} = 0,008 \cdot 0,42 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,0014 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S_{\text{поп}} = 0,0025$ мм/об.

Так як ширина круга більше ширини шліфування то повздовжня подача не використовується.

Табличне значення швидкості різання визначаємо за довідковою літературою [8]:

- швидкість обертання круга – $V_{\text{ш.кр.}} = 45$ м/с;

- швидкість обертання деталі – $V_{\text{ш.дет.}} = 50$ м/хв.

Частоту обертання розраховуємо за формулою (1.35, 1.36):

$$n_{\text{ш.кр.}}^p = \frac{1000 \cdot 45 \cdot 60}{3,14 \cdot 250} = 3439 \text{ об/хв};$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 27} = 636 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстату $n_{\text{ш.кр.}} = 2800$ об/хв, $n_{\text{дет.}} = 600$ об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.32):

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{3,14 \cdot 250 \cdot 2800}{1000 \cdot 60} = 36,6 \text{ м/с};$$

$$V_{\text{дет.}} = \frac{3,14 \cdot 27 \cdot 600}{1000} = 50 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо основний час за формулою (1.37):

$$T_0 = \frac{0,02 \cdot 1,7}{600 \cdot 0,0025} = 0,22 \text{ хв.}$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Результати розрахунку режимів різання та норм часу

Номер та назва операції	Номер переходу	Режими різання				
		глибина різання t , мм	кількість проходів i	подача S , мм/об	швидкість різання V , м/хв	частота обертів шпинделя n , об/хв
1	2	3	4	5	6	7
010 Токарна з ЧПК	01	0,9	2	0,2	155	1500
	02	1,57	1	0,1	33,5	3300
	03	0,9	2	0,2	160	1500
015 Токарна з ЧПК	01	1	2	0,2	135	1600
	02	1,57	1	0,1	33,5	3300
	03	1	2	0,2	130	1600
020 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	150	1500
025 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	150	1500
030 Фрезерна	01	2	2	40мм/хв	23	800
035 Фрезерна	01	2	2	40мм/хв	15,8	630
040 Шліцефрезерна	01	4,5	17	0,63	22,3	100
065 Круглошліфувальна	01	0,55	1	0,01	32,7/42,7	2800/500
070 Круглошліфувальна	01	0,45	1	0,01	35/47	2800/400
075 Круглошліфувальна	01	0,5	1	0,01	35/46	2800/500
080 Круглошліфувальна	01	0,0965	1	0,0025	36,6/47	2800/600
085 Круглошліфувальна	01	0,02	1	0,0025	35/50	2800/600
090 Круглошліфувальна	01	0,1	1	0,0025	35/47	2800/600
095 Круглошліфувальна	01	0,1	1	0,0025	35/47	2800/600

1.7 Технічне нормування операцій

1.7.1 Технічне нормування токарної операції 010

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{мд}} + t_{\text{контр}}, \quad (1.43)$$

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі [9];

$t_{\text{мд}}$ – машино–допоміжний час, пов’язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь [9];

$t_{\text{контр}}$ – час на контроль деталі, хв.

$$t_{\text{контр}} = t_{\text{вим}} \cdot K_n, \quad (1.45)$$

де $t_{\text{вим}}$ – час на вимірювання [9];

K_n – періодичність вимірювань [9].

$$t_{\text{контр}} = 0,28 \cdot 0,4 = 0,11 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,5 + 0,73 + 0,11 = 1,34 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{доп}} \quad (1.46)$$

$$t_{\text{оп}} = 0,4 + 1,34 = 1,74 \text{ хв.}$$

Додатковий час розраховується за формулою:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha. \quad (1.47)$$

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{\text{дод}} = 1,74 \cdot 0,1 = 0,17 \text{ хв.}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}}. \quad (1.48)$$

$$t_{шт} = 1,74 + 0,17 = 1,91 \text{ хв.}$$

Підготовчо–заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою:

$$t_{пз} = t_{пз1} + t_{пз2} + t_{пз3} \quad (1.49)$$

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни [9];

$t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс [9];

$t_{пз3}$ – час на пробну обробку деталі [9].

$$t_{пз} = 12 + 13 + 5 = 30 \text{ хв.}$$

Штучно–калькуляційний час розраховується за формулою:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n} \quad (1.50)$$

де n – розмір партії деталей, що запускаються у виробництво (п. 1.2).

$$t_{шт-к} = 1,91 + \frac{30}{24} = 3,16 \text{ хв.}$$

1.7.2 Технічне нормування шліфувальної операції 080

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.43, 1.45):

де $t_{вст} = 0,2$ хв – час на встановлення та зняття деталі [9];

$t_{мд} = 0,5$ хв – машино–допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь [9];

$t_{вим} = 0,12$ хв – час на вимірювання [9];

$K_n = 1$ – періодичність вимірювань [9].

$$t_{\text{контр}} = 0,12 \cdot 1 = 0,12 \text{ хв.}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,2 + 0,5 + 0,12 = 0,82 \text{ хв.}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.46):

$$t_{\text{оп}} = 0,13 + 0,82 = 0,95 \text{ хв.}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.47):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{\text{дод}} = 0,95 \cdot 0,1 = 0,09 \text{ хв.}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.48):

$$t_{\text{шт}} = 0,95 + 0,09 = 1,04 \text{ хв.}$$

Підготовчо–заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.49):

де $t_{\text{пз1}} = 12 \text{ хв}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни [9];

$t_{\text{пз2}} = 4 + 2 + 7 = 13 \text{ хв}$ – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс [9];

$$t_{\text{пз}} = 12 + 13 = 25 \text{ хв.}$$

Штучно–калькуляційний час розраховується за формулою (1.50):

$$t_{\text{шт-к}} = 1,04 + \frac{25}{24} = 2,29 \text{ хв.}$$

1.7.3 Технічне нормування фрезерної операції 035

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.43, 1.45):

де $t_{\text{вст}} = 0,35$ хв – час на встановлення та зняття деталі [9];

$t_{\text{мд}} = 0,5$ хв – машино–допоміжний час, пов’язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь [9];

$t_{\text{вим}} = 0,08 + 0,12 = 0,20$ хв – час на вимірювання [9];

$K_n = 0,4$ – періодичність вимірювань [9].

$$t_{\text{контр}} = 0,2 \cdot 0,4 = 0,08 \text{ хв};$$

$$t_{\text{доп}} = 0,35 + 0,5 + 0,08 = 0,93 \text{ хв.}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.46):

$$t_{\text{оп}} = 0,74 + 0,93 = 1,67 \text{ хв.}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.47):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{\text{дод}} = 1,67 \cdot 0,1 = 0,16 \text{ хв.}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.48):

$$t_{\text{шт}} = 1,67 + 0,16 = 1,83 \text{ хв.}$$

Підготовчо–заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.49):

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни [9];

$t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс [9];

$t_{пз3}$ – час на пробну обробку деталі [9].

$$t_{пз} = 10 + 13 + 4 = 27 \text{ хв.}$$

Штучно–калькуляційний час розраховується за формулою (1.50):

$$t_{шт-к} = 1,83 + \frac{27}{24} = 3,08 \text{ хв.}$$

1.7.4 Технічне нормування шліфувальної операції 085

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.43, 1.45):

де $t_{вст} = 0,2$ хв – час на встановлення та зняття деталі [9];

$t_{мд} = 0,5$ хв – машино–допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь [9];

$t_{вим} = 0,12$ хв – час на вимірювання [9];

$K_n = 1$ – періодичність вимірювань [9].

$$t_{контр} = 0,12 \cdot 1 = 0,12 \text{ хв.}$$

$$t_{доп} = 0,2 + 0,5 + 0,12 = 0,82 \text{ хв.}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.46):

$$t_{оп} = 0,22 + 0,82 = 1,04 \text{ хв.}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.47):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{дод} = 1,04 \cdot 0,1 = 0,1 \text{ хв.}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.48):

$$t_{шт} = 1,04 + 0,1 = 1,14 \text{ хв.}$$

Підготовчо–заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.49):

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни [9];

$t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс [9];

$$t_{пз} = 12 + 13 = 25 \text{ хв.}$$

Штучно–калькуляційний час розраховується за формулою (1.50):

$$t_{шт-к} = 1,14 + \frac{25}{24} = 2,18 \text{ хв.}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_o , хв	$t_{доп}$, хв	$t_{дод}$, хв	$t_{шт}$, хв	$t_{пз}$, хв	$t_{шт-к}$, хв
010 Токарна з ЧПК	0,4	1,34	0,17	1,91	30	3,16
015 Токарна з ЧПК	1,5	1,34	0,28	3,12	30	4,37
020 Токарна з ЧПК	0,6	1,34	0,19	2,13	30	3,38
025 Токарна з ЧПК	2,2	1,34	0,35	3,89	30	5,14
030 Фрезерна	0,2	0,93	0,11	1,24	27	2,37
035 Фрезерна	0,74	0,93	0,17	1,84	27	2,96
040 Шліцефрезерна	15	1,2	1,62	17,82	22	18,74
065 Круглошліфувальна	0,3	0,82	0,11	1,23	25	2,27
070 Круглошліфувальна	0,35	0,82	0,12	1,29	25	2,33
075 Круглошліфувальна	0,25	0,82	0,11	1,18	25	2,22
080 Круглошліфувальна	0,13	0,82	0,10	1,05	25	2,09
085 Круглошліфувальна	0,22	0,82	0,10	1,14	25	2,18
090 Круглошліфувальна	0,2	0,82	0,10	1,12	25	2,16
095 Круглошліфувальна	0,15	0,82	0,10	1,07	25	2,11

1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

1.8.1 Розробка керуючої програми на токарну операцію №010

Для токарної обробки (операція 010) створимо керуючу програму (КП) в програмному забезпеченні NX CAM. Спочатку створимо 3D моделі деталі та заготовки (рис. 1.9).

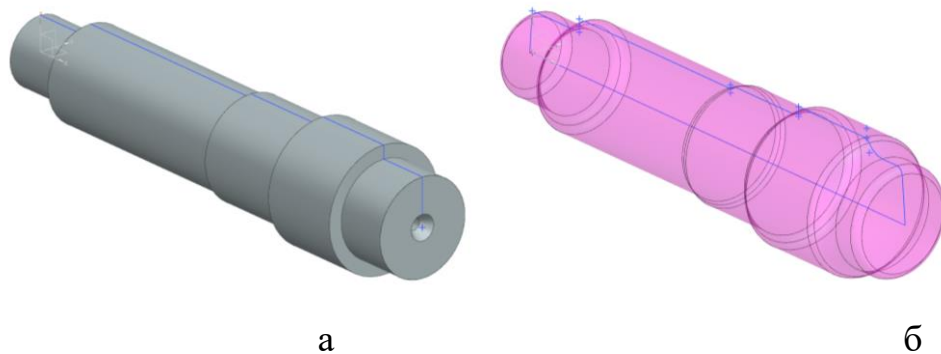


Рисунок 1.9 – 3D зображення деталі після токарної обробки (операція 010) (а) та зображення заготовки (б)

Наступним кроком створення КП було накладання зображення заготовки на зображення деталі (рис. 1.10), причому було витримано симетричне розподілення припусків.

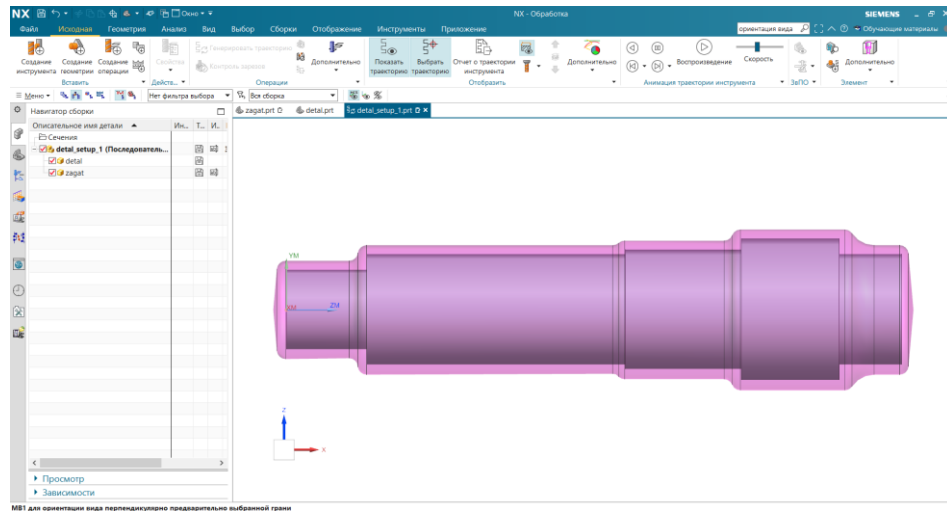
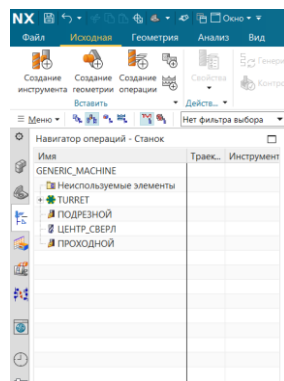
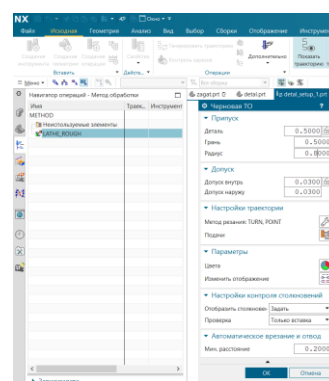


Рисунок 1.10 – Поєднання зображення деталі та заготовки в системі NX CAM

Далі в системі NX CAM був визначений весь необхідний ріжучий інструмент (рис. 1.11, а) та методи обробки (рис. 1.11, б), в яких визначено припуски на послідууючу обробку та точність рухів (допуск) інструменту при генеруванні КП.



а



б

Рисунок 1.11 – Створення інструменту для операції 010 (а) та визначення припуску під чистову обробку (б) в системі NX CAM

Далі визначаємо положення системи координат в залежності від базування та закріплення деталі (рис. 1.12).

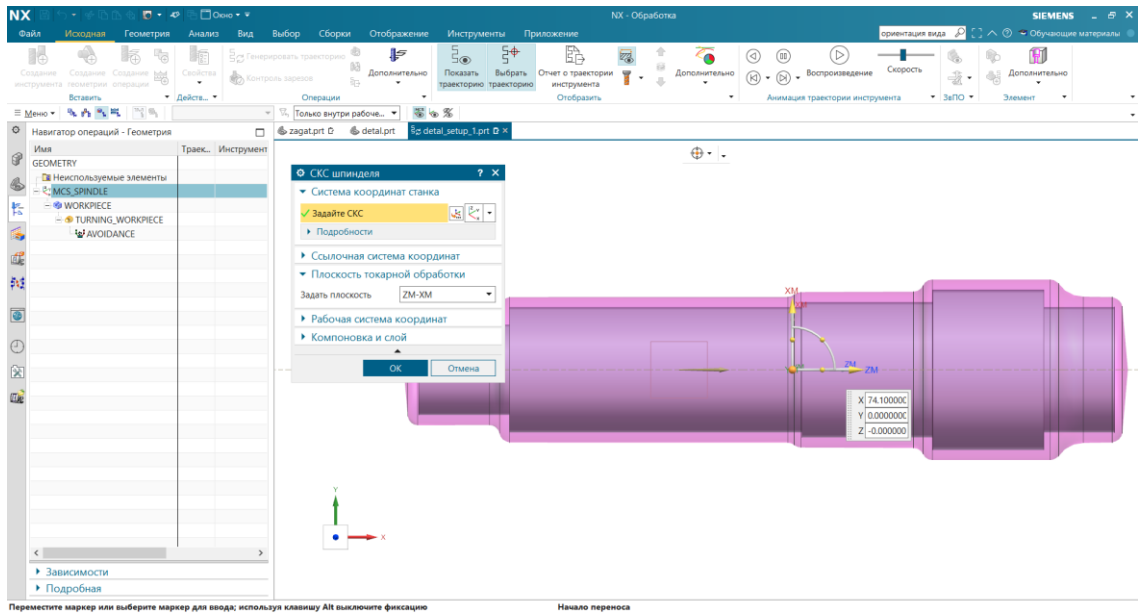


Рисунок 1.12 – Визначення початку системи координат

Визначаємо в системі NX CAM деталь та заготовку (рис. 1.13).

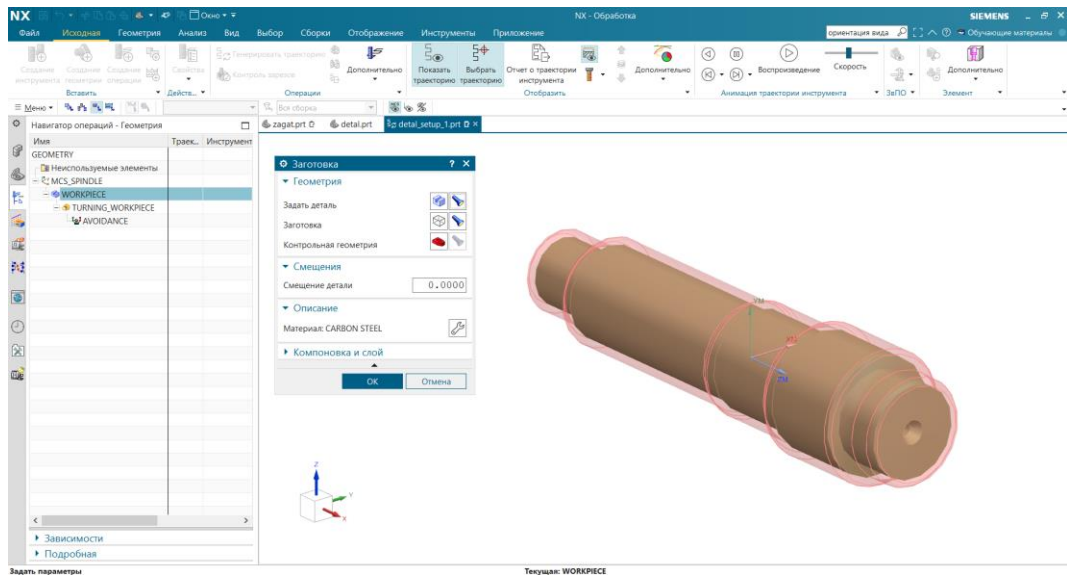


Рисунок 1.13 – Визначення деталі, заготовки в системі NX CAM

Генеруємо токарний переріз (рис. 1.14) для визначення траєкторій обробки.

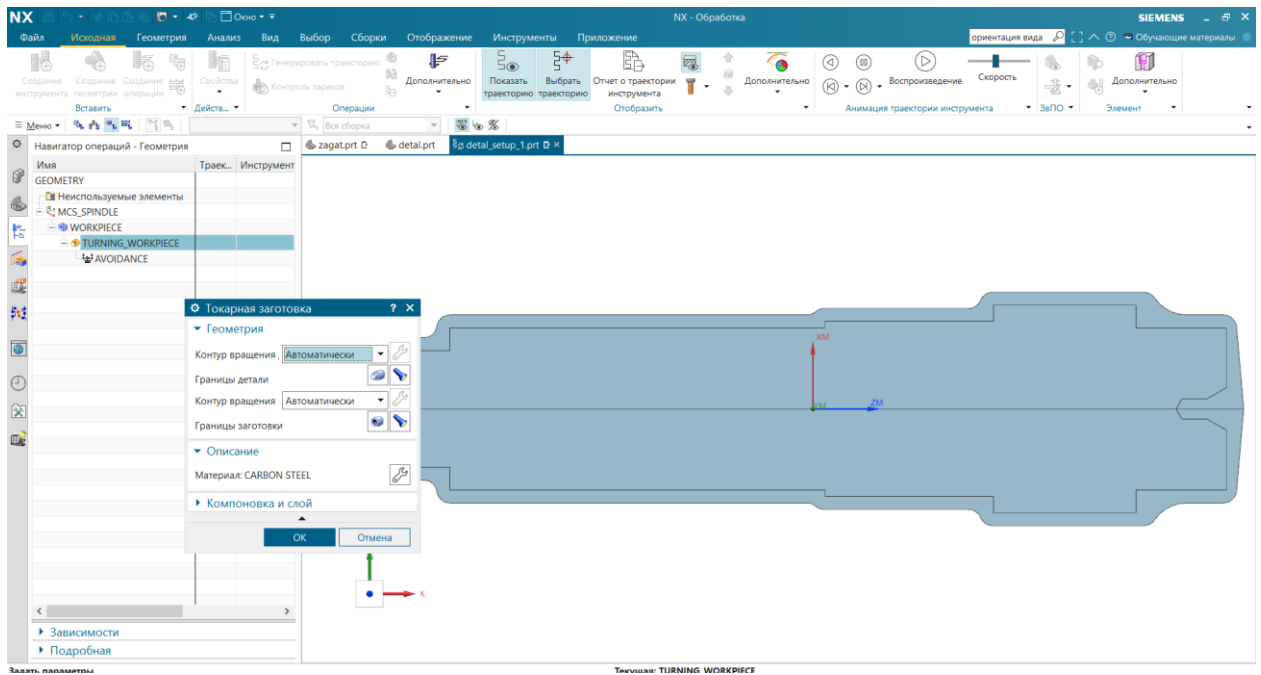


Рисунок 1.14 – Генерування токарного перерізу

Визначаємо положення початкової точки та тип переміщення в точку початку врізання (рис. 1.15).

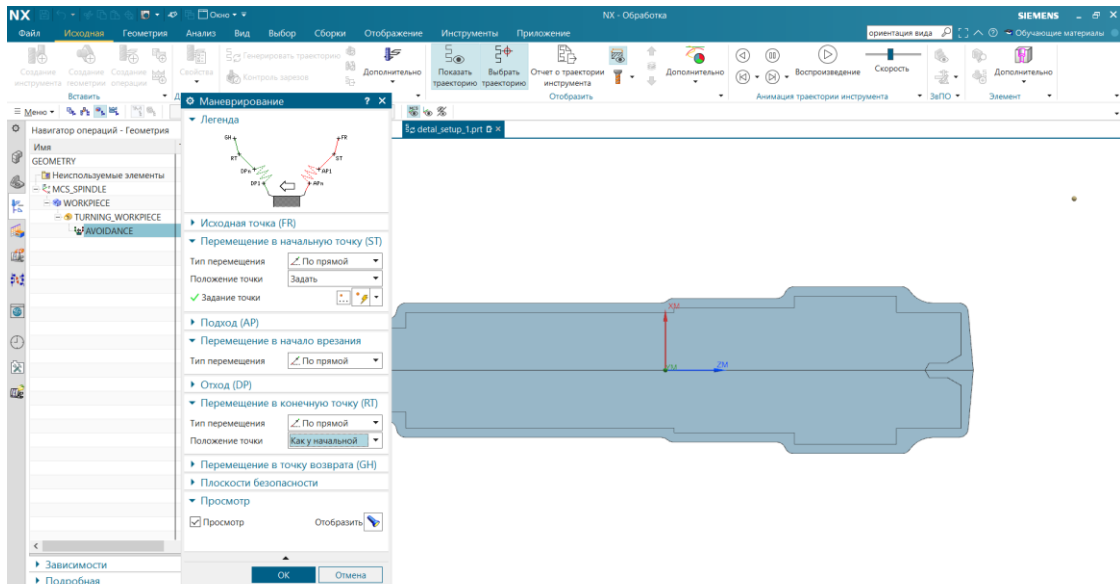


Рисунок 1.15 – Визначення маневрування (AVOIDENCE) інструменту

Створюємо перехід – «Підрізка торця». Генеруємо траєкторію цього переходу (рис. 1.16, а) та робимо візуалізацію обробки (рис. 1.16, б).

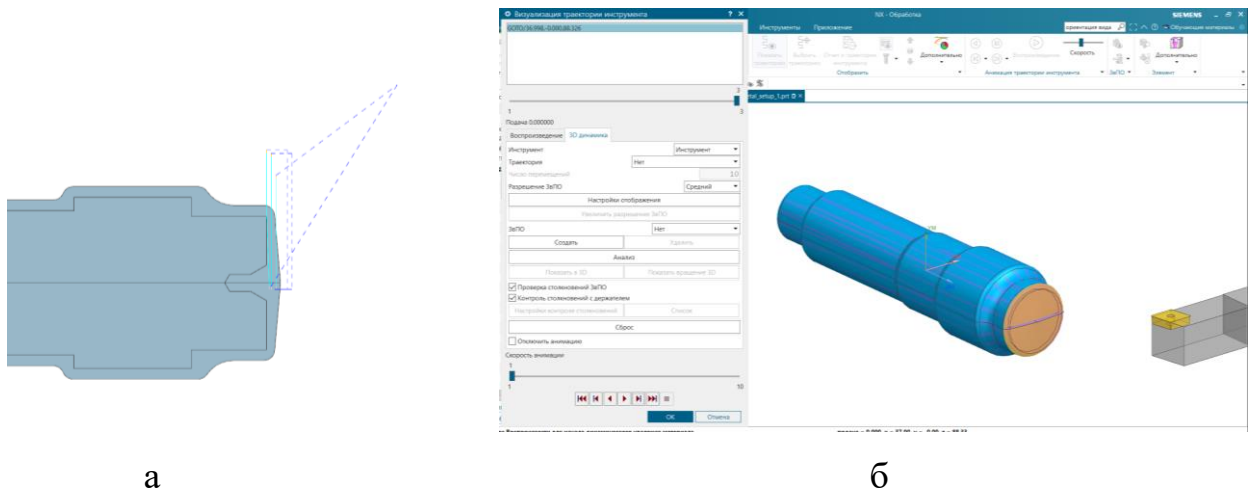


Рисунок 1.16 – Траєкторія обробки (а) та візуалізація обробки (б)

Створюємо наступний перехід – «Свердління центровочного отвору». Генеруємо траєкторію цього переходу (рис. 1.17, а) та робимо візуалізацію обробки (рис. 1.17, б).

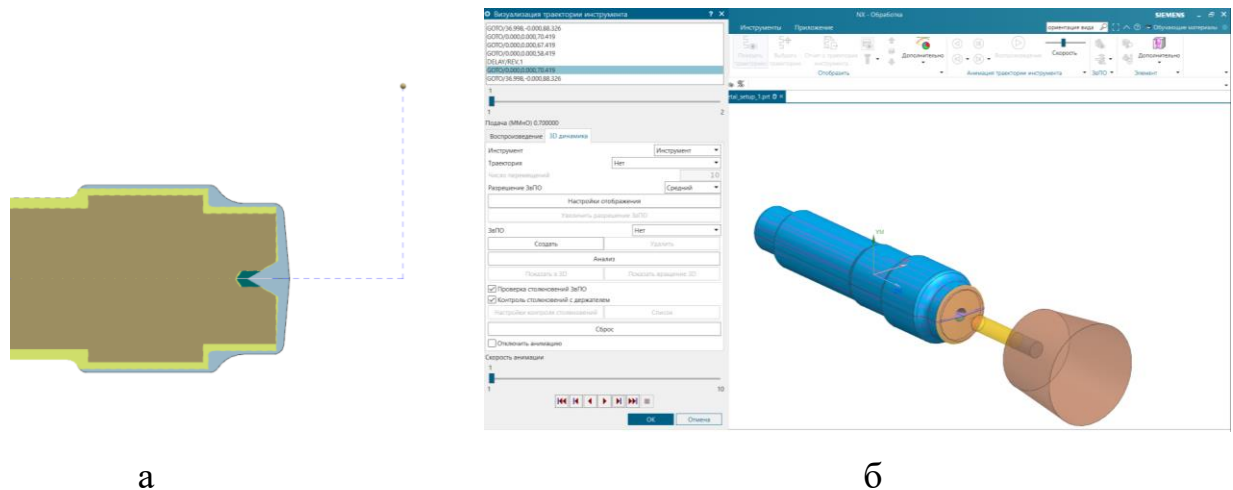


Рисунок 1.17 – Траєкторія обробки (а) та візуалізація обробки (б)

Створюємо наступний перехід – «Точити зовні начорно». Генеруємо траєкторію цього переходу (рис. 1.18, а) та робимо візуалізацію обробки (рис. 1.18, б).

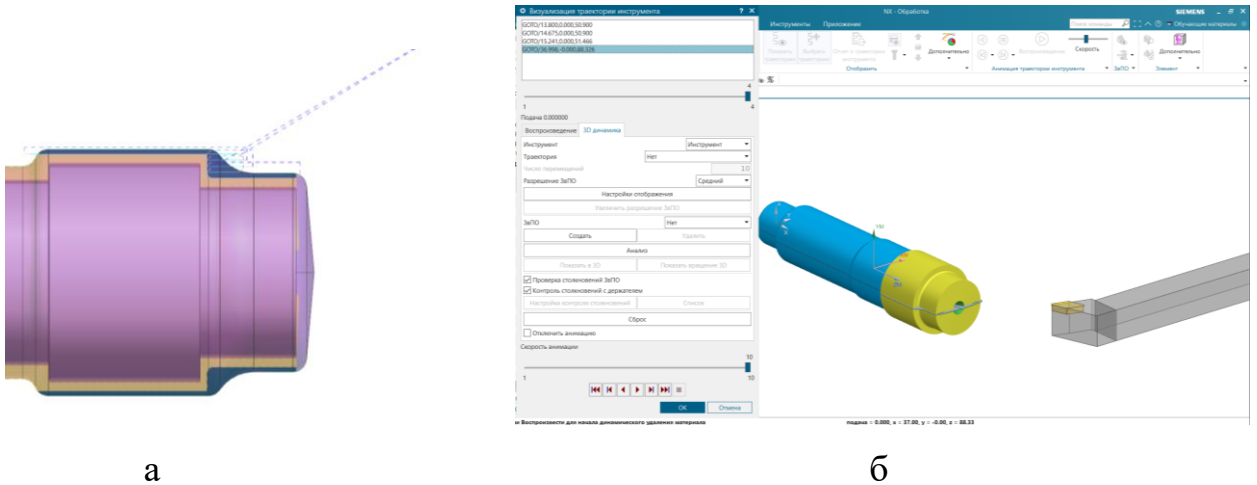


Рисунок 1.17 – Траєкторія обробки (а) та візуалізація обробки (б)

Генеруємо КП в G-кодах згідно обраного постпроцесора (рис.1.18).

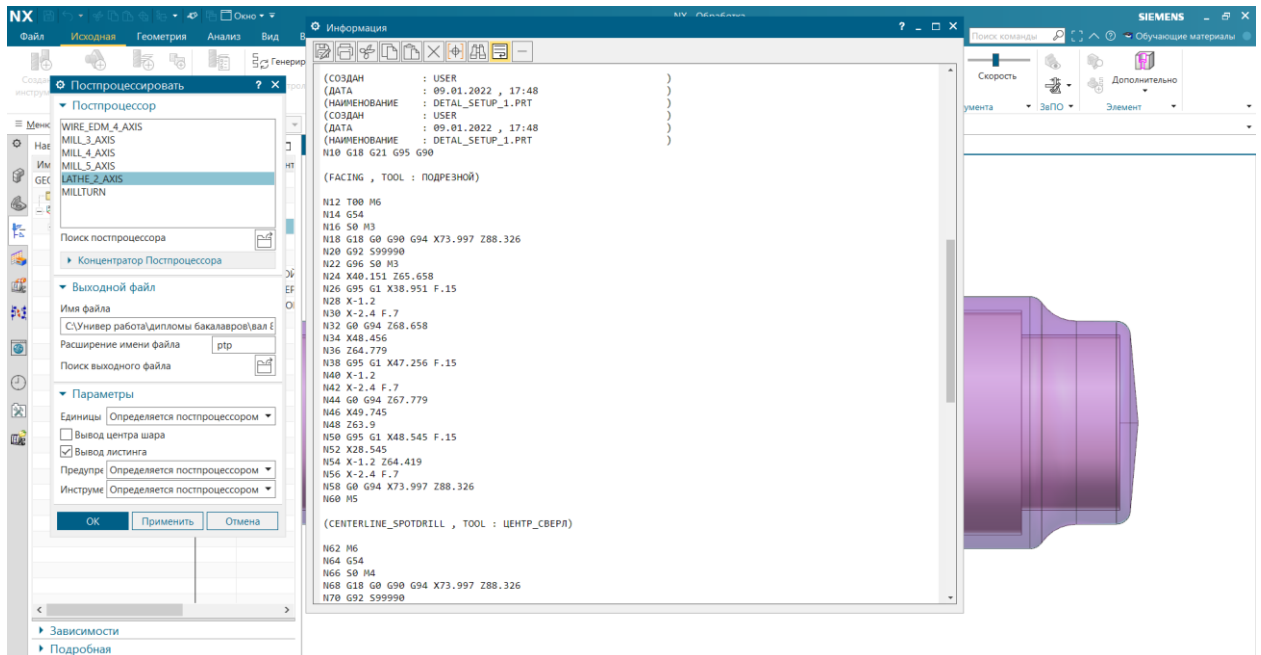


Рисунок 1.18 – Генерування керуючої програми

Послідовність розробки КП токарної операції в модулі NX CAM наведено на форматі А1.

1.8.2 Операція 035 – фрезерна

Керуючу програму (КП) розробимо для фрезерної операції 035 за допомогою програми Siemens.NX. 3D моделі деталі та заготовки зображено на рис. 1.21, 1.22.



Рисунок 1.21 – 3D зображення деталі (операція 035)

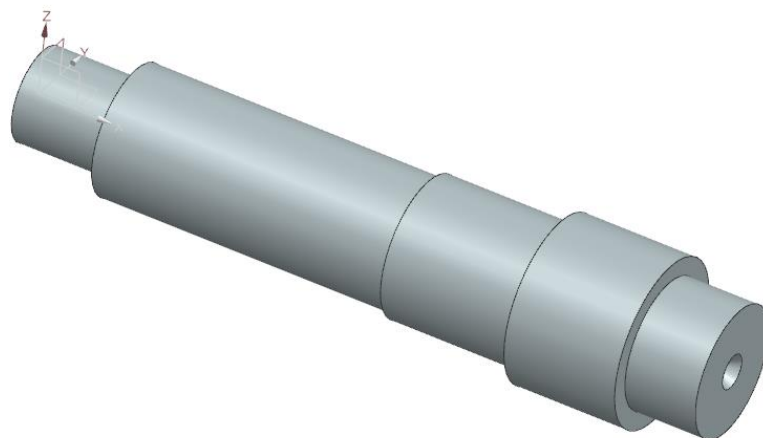


Рисунок 1.22 – 3D зображення заготовки (операція 030)

Далі було визначено робочу геометрію WORKPIECE: контрольну геометрію, деталь та заготовку (рис. 1.23).

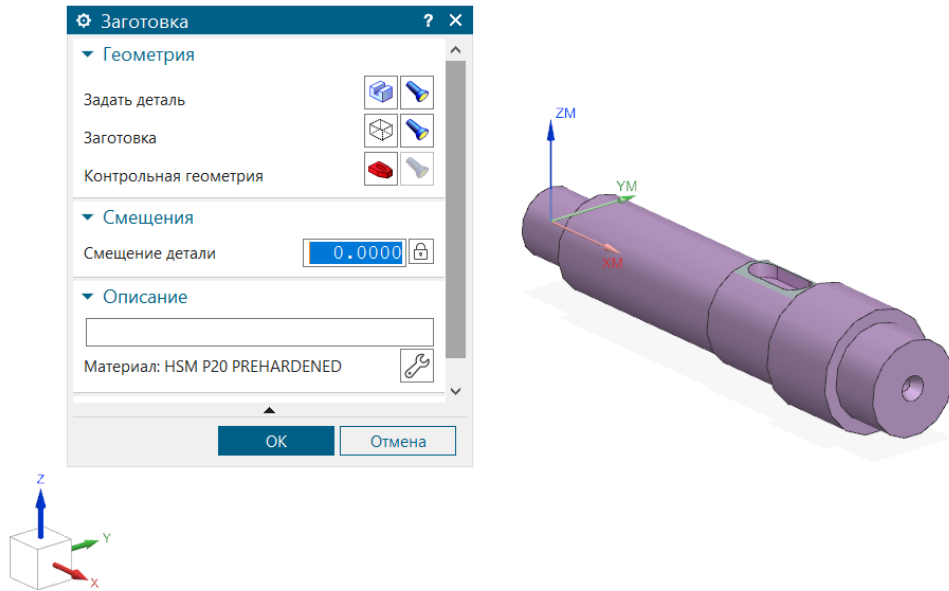


Рисунок 1.23 – Визначення робочої геометрії

Розроблюємо першу операцію POCKETING – фрезерування шпоночного пазу (рис. 1.24). Візуалізація обробки зображено на рис. 1.25.

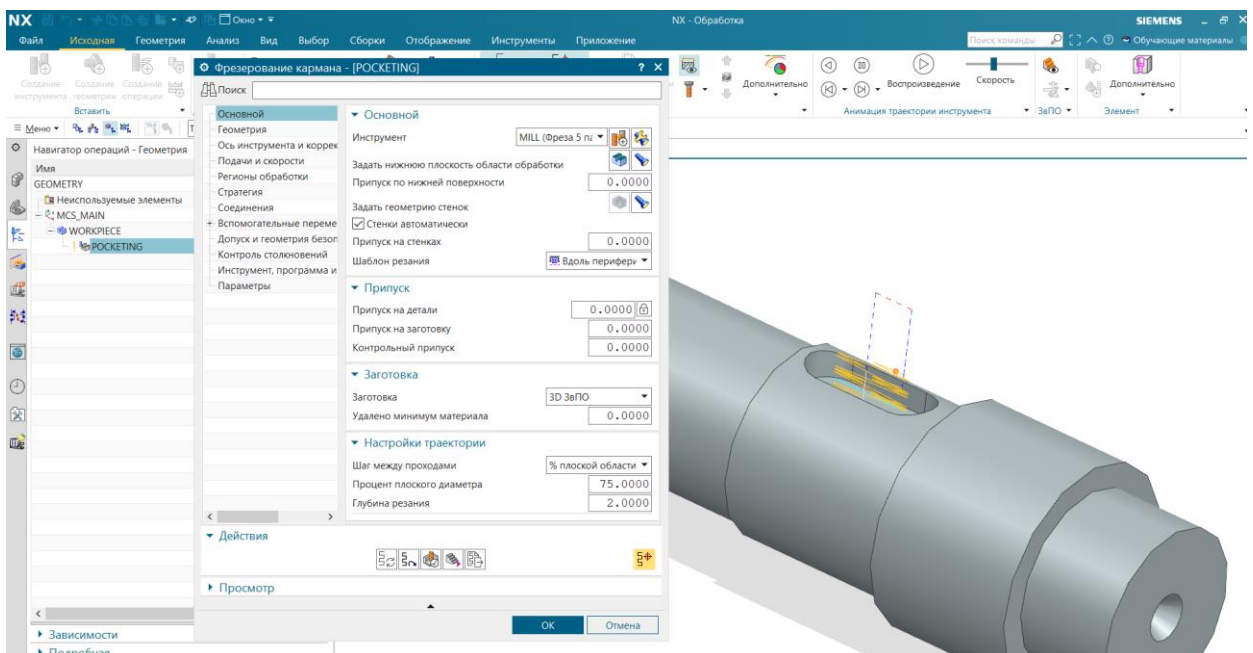


Рисунок 1.24 – Траектория обработки

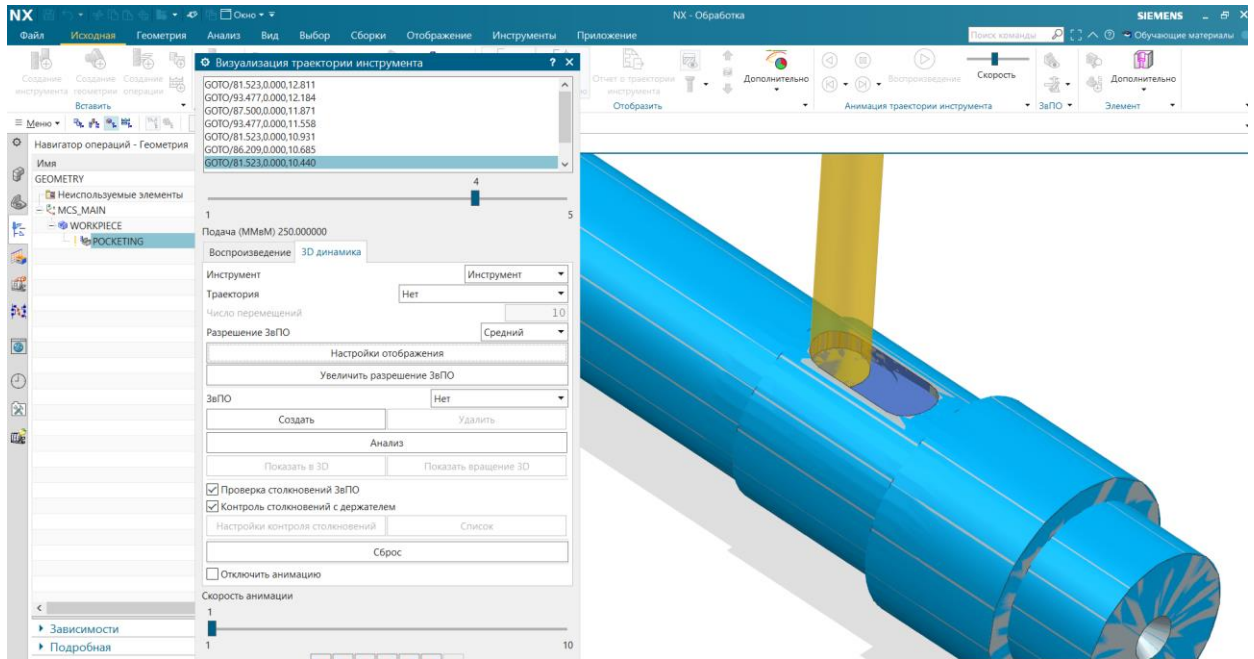


Рисунок 1.25 – Візуалізація обробки

1.8.3 Операція 030 – фрезерна

Керуючу програму (КП) розробимо для фрезерної операції 030 за допомогою програми Siemens.NX. 3D моделі деталі та заготовки зображено на рис. 1.21, 1.22.

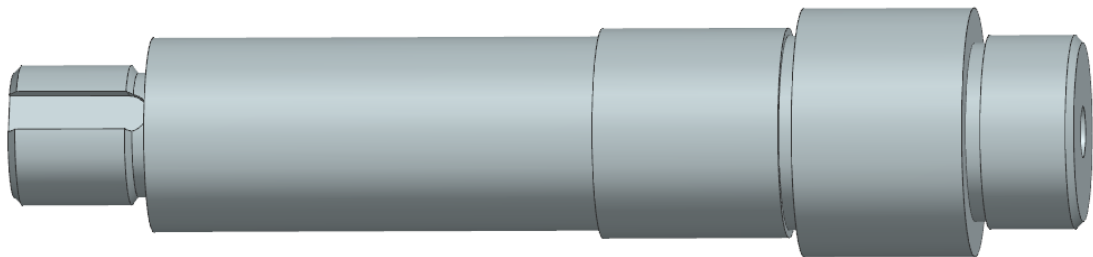


Рисунок 1.21 – 3D зображення деталі (операція 030)

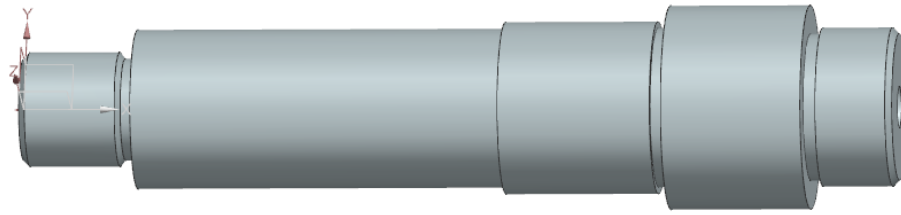


Рисунок 1.22 – 3D зображення заготовки (операція 025)

Далі було визначено робочу геометрію WORKPIECE: контрольну геометрію, деталь та заготовку (рис. 1.23).

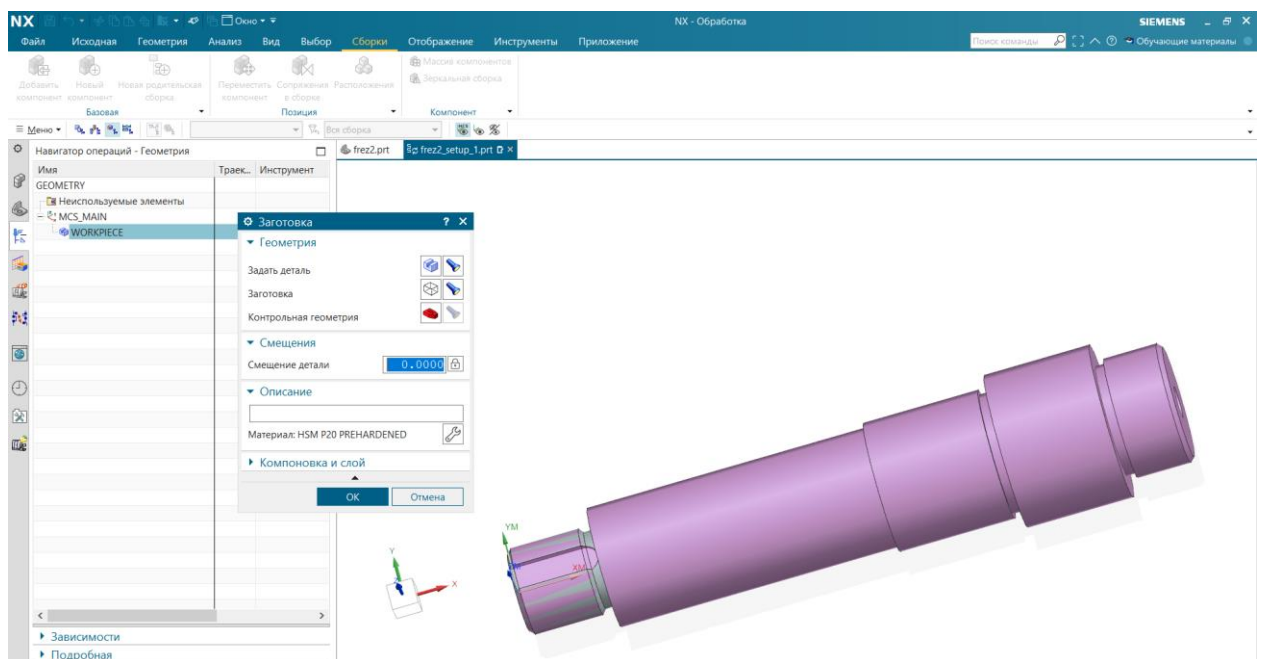


Рисунок 1.23 – Визначення робочої геометрії

Розроблюємо першу операцію ROCKETING – фрезерування шпонкового пазу (рис. 1.24). Візуалізація обробки зображено на рис. 1.25.

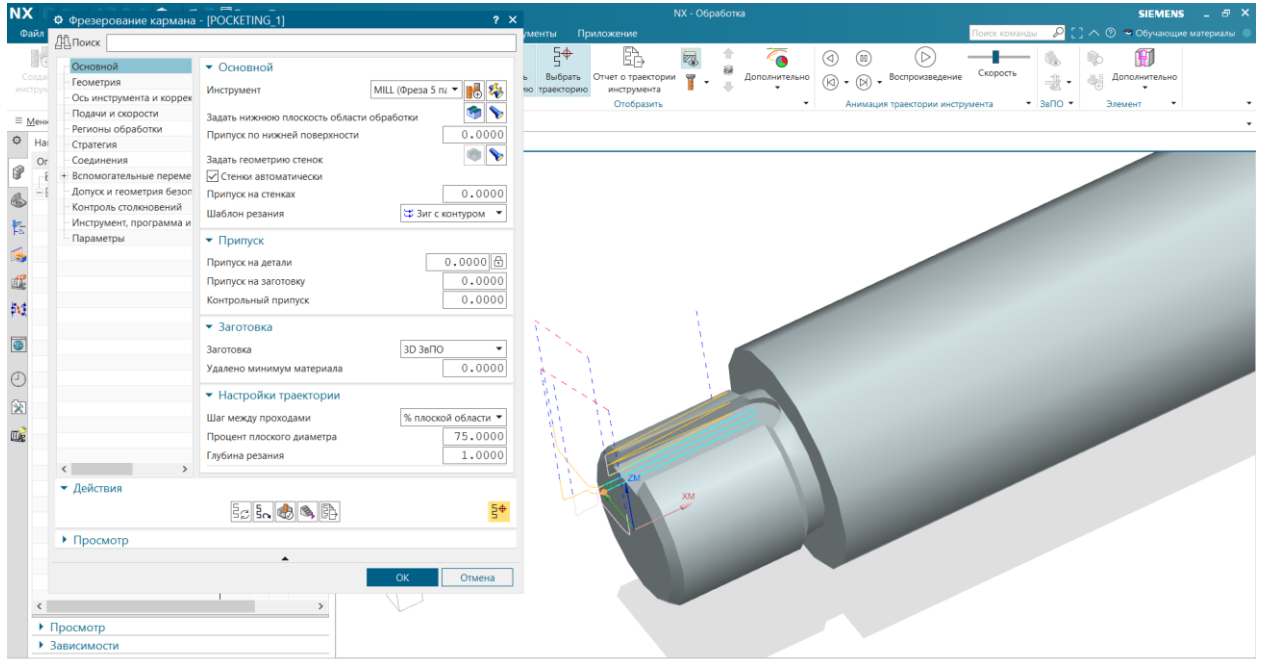


Рисунок 1.24 – Траектория обработки

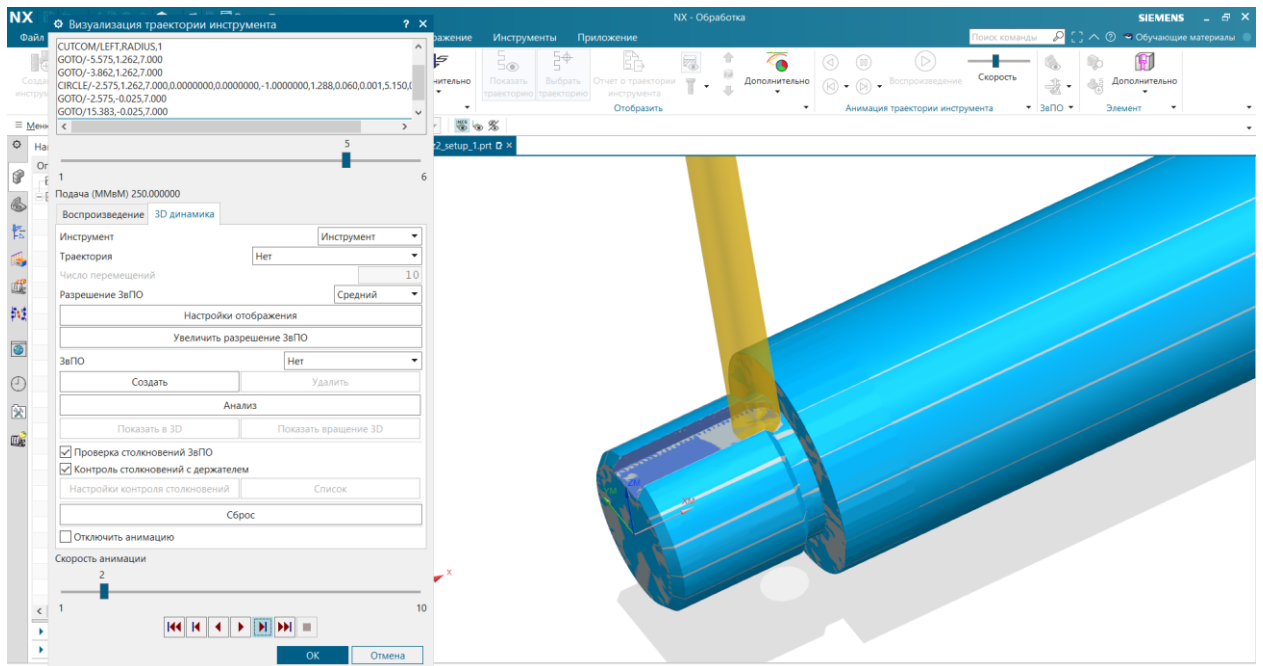


Рисунок 1.25 – Візуалізація обробки

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність

Похибка встановлення – одна із складових загальної похибки виконуваного розміру, складається з похибок базування, закріплення. За своїм фізичним змістом вона виражає похибку положення заготовки.

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{зак}}^2} \quad (2.1)$$

де $\varepsilon_{\text{баз}}$ – похибка базування;

$\varepsilon_{\text{закр}}$ – похибка закріплення

Похибкою базування називається різниця граничних відстаней вимірювальної бази щодо встановленого на розмір інструменту. Похибка базування має місце при суміщенні вимірювальної та бази налаштування заготовки.

Розглянемо схему установки на звичайну призму (рис. 2.2) з кутом 90° , як установчу базу приймаємо $\varnothing 27_{-0,084}$.

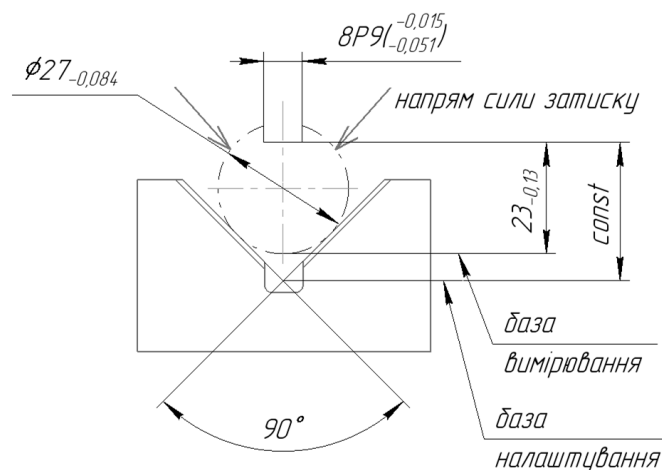


Рисунок 2.2 – Схема установки у призму

Похибка базування розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = K_1 \cdot Td \quad (2.2)$$

де Td – допуск на діаметр базування;

K_1 – коефіцієнт, що характеризує тип базування.

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,21 \cdot 0,084 = 0,017 \text{ мм}$$

Похибкою закріплення називається різниця між найбільшою та найменшою величинами проекцій зміщення вимірювальної бази на напрямок виконуваного розміру в результаті застосування до заготовки сили закріплення. Під дією сили закріплення виникають пружні деформації в системі заготовка–пристосування та виникає зхвання мікронерівностей в зоні контакту. Похибку закріплення визначаємо залежно від напрямку сили закріплення, стану шорсткості поверхні деталі, типу опорної площини пристосування з довідкової літератури [10]. Для даного принципу закріплення похибка становить 0,035 мм.

Похибка встановлення згідно формули (2.1):

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,017^2 + 0,035^2} = 0,039 \text{ мм}$$

При фрезеруванні площини, коли потрібно витримати розміри, використовують установ. Розрахунок на точність фрезерних пристроїв полягає у визначенні виконавчих розмірів установка.

Визначимо номінальні розміри установка у вертикальній площині згідно схеми (рис. 2.3).

$$A_{\text{ср}} = A - \frac{TA}{2} \quad (2.3)$$

$$A_{\text{ср}} = 23 - \frac{0,13}{2} = 22,935 \text{ мм};$$

$$D_{cp} = D - \frac{TD}{2} \quad (2.4)$$

$$D_{cp} = 27 - \frac{0,084}{2} = 26,958 \text{ мм};$$

$$R_{cp} = \frac{D_{cp}}{2} \quad (2.5)$$

$$R_{cp} = \frac{26,958}{2} = 13,479 \text{ мм};$$

$$B_{2cp} = \frac{R_{cp}}{\sin 45} \quad (2.6)$$

$$B_{2cp} = \frac{13,479}{0,707} = 19,06 \text{ мм};$$

$$TB_{1cp} = \pm \frac{TD}{2 \sin 45} \quad (2.7)$$

$$TB_{1cp} = \pm \frac{0,084}{2 \sin 45} = \pm 0,06 \text{ мм};$$

$$B_{1cp} = A_{cp} - R_{cp} \quad (2.8)$$

$$B_{1cp} = 22,935 - 13,479 = 9,456 \text{ мм};$$

$$TB_{1cp} = TA - TR = TA - \frac{TD}{2} \quad (2.9)$$

$$TB_{1cp} = 0,13 - \frac{0,084}{2} = 0,088 \text{ мм} \rightarrow \pm 0,04 \text{ мм};$$

$$S_{cp} = S - \frac{TS}{2} \quad (2.10)$$

$$S_{cp} = 3 - \frac{0,006}{2} = 2,997 \text{ мм};$$

$$H_{yct} = B_{1cp} + B_{2cp} - S_{cp} \quad (2.11)$$

$$H_{yct} = 9,456 + 19,06 - 2,997 = 25,52 \text{ мм}.$$

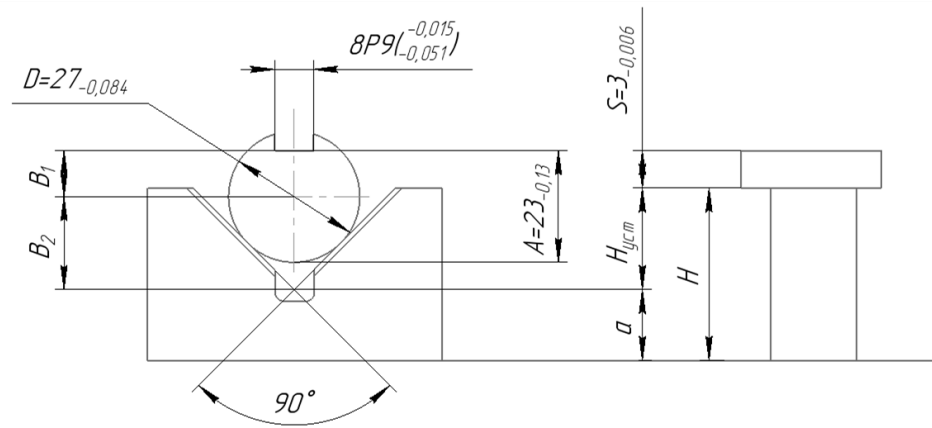


Рисунок 2.3 – Схема розрахунку розміру установка

Допуск установку визначаємо згідно формули:

$$TH_{уст} \leq TA - (K_1 \cdot \varepsilon_{баз} + \varepsilon_{зак} + K_2 \cdot \omega) \quad (2.12)$$

де TA – допуск на розмір обробки;

K_1 – коефіцієнт, що враховує реальну похибку базування;

K_2 – коефіцієнт, що враховує частку середньої економічної точності обробки та який залежить від конструкції пристосування;

ω – середня економічна точність обробки.

$$TH_{уст} \leq 0,13 - (0,8 \cdot 0,017 + 0,035 + 0,6 \cdot 0,016) = 0,072 \rightarrow 0,035 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$TH = 0,035 \leq \left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{3}\right) \cdot TA \quad (2.13)$$

$$TH = \frac{1}{3} \cdot 0,13 = 0,043 \text{ мм.}$$

Виконавчий розмір установка:

$$H = H_{уст} + a \quad (2.14)$$

де $a = 15$ мм – відстань до основи призми (знаходиться графічно).

$$H = 25,52 + 15 = 40,52 \text{ мм}$$

$$H = 40,52_{-0,035}$$

Визначимо номінальні розміри установка у горизонтальній площині згідно схеми (рис. 2.4).

$$\frac{B_{\text{cp}}}{2} = \frac{\left(B - EJ + \frac{EJ - ES}{2} \right)}{2} \quad (2.15)$$

$$\frac{B_{\text{cp}}}{2} = \frac{\left(8 - 0,051 + \frac{0,051 - 0,015}{2} \right)}{2} = 7,967 \text{ мм.}$$

$$H_{\text{cp}} = \frac{B_{\text{cp}}}{2} + S_{\text{cp}} \quad (2.16)$$

де S – товщина щупа.

B – ширина пазу.

$$H_{\text{cp}} = 7,967 + 2,997 = 10,964 \text{ мм.}$$

$$TH_{\text{уст}} \leq T_{\text{ТВ}} - k \cdot \omega \quad (2.17)$$

де $T_{\text{ТВ}}$ – технічні вимоги до похибки розміщення пазу;

k – коефіцієнт, що враховує реальну похибку базування;

ω – середня економічна точність обробки.

$$TH_{\text{уст}} = 0,03 - 0,6 \cdot 0,03 = 0,012 \Rightarrow 0,01 \text{ мм.}$$

Перевірка:

$$TH = 0,01 \leq \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{3} \right) T_{\text{ТВ}} \quad (2.18)$$

$$TH = \frac{1}{3} \cdot 0,03 = 0,01 \text{ мм.}$$

Виконавчий розмір установка:

$$H=10,964^{+0,01}$$

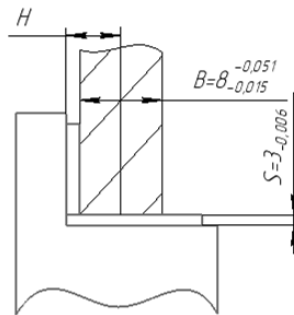


Рисунок 2.4 – Схема розрахунку розмірів установка

2.1.3 Розрахунок необхідного сили затиску. Вибір приводу

Ефективність затиску багато в чому залежить від напрямку та місця застосування сили. Затискні пристрої служать для утримання заготовки під час її обробки.

Визначимо головну силу різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^{n \cdot z}}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}; \quad (2.19)$$

де $x=0,86$; $y=0,72$; $q=0,86$; $w=0$; $n=1$; $C_p=68,2$ – коефіцієнти [8].

K_{mp} – поправочний коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^{0,3}; \quad (2.20)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{650}{750} \right)^{0,3} = 0,95.$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 4^{0,86} \cdot 0,031^{0,72} \cdot 8^{1 \cdot 2}}{8^{0,86} \cdot 200^0} \cdot 0,95 = 472 \text{ Н.}$$

Згідно схеми (рис. 2.5) [10] визначимо всі моменти та сили що діють в закріпленні:

$$k \sum M_{\text{хакт}} + \sum M_{\text{хпр}} = 0; \quad (2.21)$$

$$k \cdot \gamma \cdot P_{zy} \cdot \left(R - \frac{h}{2}\right) - 2 \cdot T \cdot R = 0; \quad (2.22)$$

$$T = T_1 = T_2; \quad (2.23)$$

$$T = f \cdot N; \quad (2.24)$$

$$N = \frac{W}{2 \sin(\alpha/2)}; \quad (2.25)$$

$$k \cdot \gamma \cdot P_{zy} \cdot \left(R - \frac{h}{2}\right) = f \cdot \frac{W}{\sin(\alpha/2)} \cdot R; \quad (2.26)$$

$$P_{zy} = 1,2 \cdot P_z \quad (2.27)$$

Сила закріплення:

$$W = \frac{1,2 \cdot k \cdot P_z \cdot \left(R - \frac{h}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{f \cdot R}; \quad (2.28)$$

де f – коефіцієнт тертя;

k – коефіцієнт запасу закріплення.

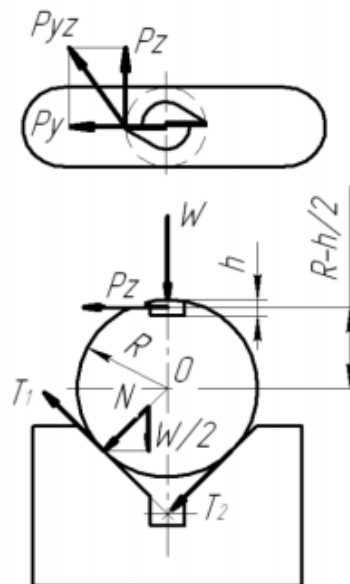


Рисунок 2.5 – Схема до визначення сили закріплення [10]

Коефіцієнт запасу закріплення:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (2.29)$$

де $k_0=1,5$ – гарантований коефіцієнт запасу;

$k_1=1$ – коефіцієнт нерівномірності сил різання через непостійність припуску, що знімається при обробці;

$k_2=1,7$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту.

$k_3=1,2$ – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання;

$k_4=1$ – коефіцієнт, що враховує мінливість сил затиску, що розвиваються приводами;

$k_5=1$ – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток;

$k_6=1$ – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту.

$$k = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 3,06$$

Сила закріплення згідно формули (2.28):

$$W = \frac{472 \cdot 1,2 \cdot 3,06 \cdot \left(0,013 - \frac{0,004}{2}\right) \sin(90/2)}{0,15 \cdot 0,013} = 6912 \text{ Н.}$$

Визначимо силу на штоці, для чого розгляне кінетичну схему пристосування (рис. 2.6) [10]:

$$\sum M_o = 0;$$

$$P \cdot L - P_1 \cdot L_1 + P_{np} \cdot h + F_1 \cdot h_1 + F_2 \cdot R + F_3 \cdot h_2 = 0;$$

$$F_2 = f \cdot (P_1 - P_{np} + P \cdot \sin \gamma) = f \cdot P_1 - f \cdot P_{np} + f \cdot P \sin \gamma;$$

$$F_1 = f \cdot P; \quad (2.30)$$

$$F_3 = f \cdot P_1; \quad (2.31)$$

$$P = \frac{W}{2\cos\gamma}; \quad (2.32)$$

$$P = \frac{6912}{2\cos 70} = 10165 \text{ H.}$$

$$P \cdot L - P_1 \cdot L_1 + P_{\text{пр}} \cdot h + f \cdot P \cdot h_1 + f \cdot P_1 \cdot R - f \cdot P_{\text{пр}} \cdot R + f \cdot P \cdot \sin\gamma \cdot R + f \cdot P_1 \cdot h_2 = 0;$$

$$P_1 = \frac{P \cdot (L + f \cdot h_1 + f \cdot \sin\gamma \cdot R) + P_{\text{пр}} \cdot (h - f \cdot R)}{L_1 - f \cdot R - f \cdot h_2}; \quad (2.33)$$

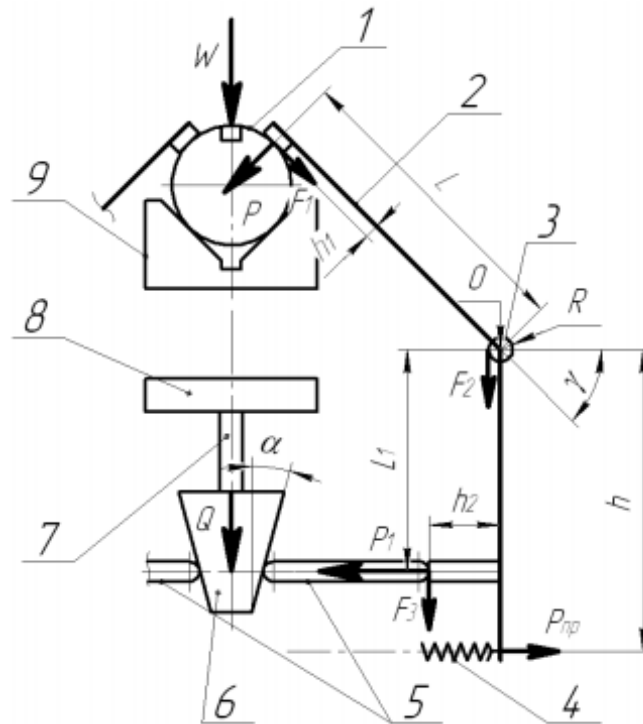


Рисунок 2.6 – Схема кінематична пристосування [11]

Сила пружини:

$$P_{\text{пр}} = 1,2(a \cdot m \cdot f) \quad (2.34)$$

де $m = 0,3$ кг – маса важеля;

$a = 3$ – коефіцієнт враховуючий, що пружині потрібно подолати тертя ще в двох місцях – між плунжером і втулкою та плунжером та регулювальним гвинтом.

$$P_{\text{пр}} = 1,2 \cdot (3 \cdot 0,15 \cdot 0,3) = 0,16 \text{ H.}$$

Зусилля на штоку:

$$Q = 2 P_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (2.35)$$

де α – кут клину.

φ – кут тертя.

$$P_1 = \frac{10165 \cdot (0,08 + 0,015 \cdot 0,022 + 0,15 \cdot \sin 70 \cdot 0,0075) + 0,16 \cdot (0,13 - 0,15 \cdot 0,0075)}{0,062 - 0,15 \cdot (0,0075 - 0,005)} = 14268 \text{ Н} .$$

$$Q = 2 \cdot 14268 \cdot \operatorname{tg}(20 + 9) = 15124 \text{ Н}.$$

Привод зазвичай складається з гідравлічної установки, що включає електродвигун з пусковою апаратурою, насос, резервуар для масла, апаратуру управління та регулювання, гідроциліндри та трубопроводи.

Мінімальний діаметр різьби на штоці:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (2.36)$$

де p – тиск в гідросистемі;

α – коефіцієнт затягування;

$[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг для сталі 40Х.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 15124}{3,14 \cdot 100}} = 15,7 \rightarrow 16 \text{ мм}.$$

Діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{p \cdot \eta \cdot \pi}} \quad (2.37)$$

де η – ККД, що враховує втрати на тертя.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 15124}{3,14 \cdot 5 \cdot 0,85}} = 59 \rightarrow 63 \text{ мм}.$$

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування призначено для контролю радіального биття шийки $\varnothing 27$ відносно баз Б, В, яке становить $0,02$ мм.

Контрольне пристосування (рис. 2.7) складається зі корпусу 1, на якому встановлюється дві призми 3 та штанга 2. На призми 3 встановлюється деталь по базам Б та В. Ніжка індикаторного годинника 10 встановлюється на контрольну шийку з забезпеченням натягу $0,5 \dots 1$ мм. Шляхом обертання деталі в призмах 3 по індикаторному годиннику 10 знімаються значення биття. Після контролю плече штанги 2 з індикаторним годинником відводиться в сторону та деталь знімається. Штанга 2 має можливість обертати плече з індикаторним годинником на 360° , опускати та підіймати його в вертикальній площині.

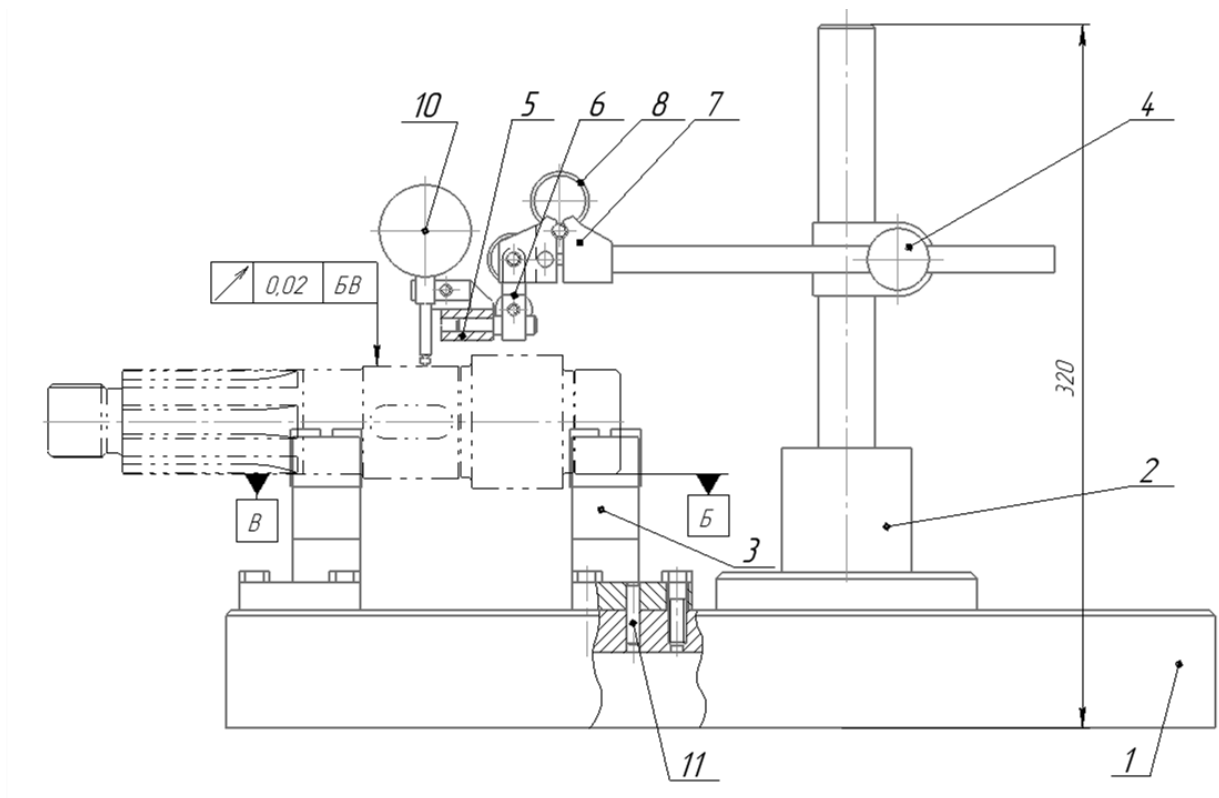


Рисунок 2.7 – Контрольне пристосування

3. АВТОМАТИЗАЦІЯ

3.1 Автоматизація та механізація токарної обробки

Щоб підвищити продуктивність і якість токарної обробки, раціональніше використовувати робочий час токаря та підвищити ефективність його праці, проводять постійну роботу з автоматизації та механізації токарних верстатів. Автоматизація – це процес створення приладів, пристроїв та механізмів, яким частково або повністю передаються функції керування верстатом та контролю якості обробки деталей. Механізація – це обладнання верстата пристроями, які полегшують працю токаря та звільняють його від виконання фізично важких, трудомістких та стомлюючих робіт. Технічні засоби автоматизації та механізації токарного верстата схематично представлені на рис. 3.1. До засобів механізації відносять транспортні засоби, затискні пристрої (самозатискні повідкові патрони, патрони з пневмо– або гідрозатиском, задню бабку з гідро– або пневмоприводом пінолі), механізований привід подач різцевих санчат, задньої бабки, а також гідросупорт, що закріплюються в центрах та в патроні, по зовнішнім та внутрішнім поверхням [11].

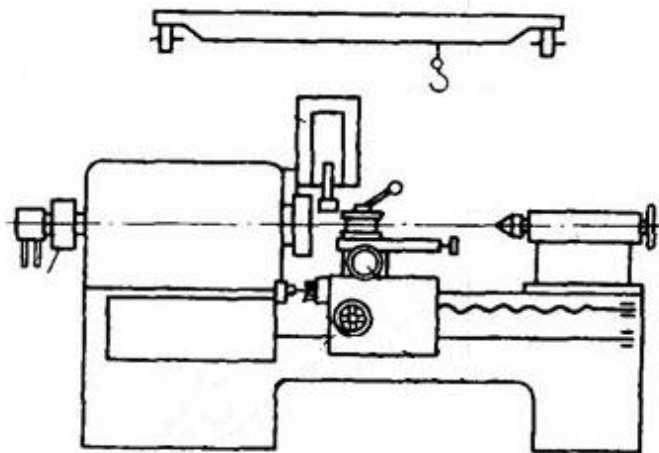


Рисунок 3.1 – Технічні засоби автоматизації та механізації токарного верстата

Гідросупорт (рис. 3.2) встановлюють замість звичайного супорта. Завданням для супорта є поздовжня (для обробки зовнішніх або внутрішніх поверхонь) або поперечна (при обробці торцевих поверхонь) подача. Копір 15 встановлюють на нерухомій поверхні верстата профілем вздовж оброблюваної поверхні. Олія від насоса 1 з мотором М по гнучкому шлангу 2 подається в порожнину циліндра 3 4, з якої по каліброваного отвору в поршні 5 перетікає в порожнину 6. Поршень 5 кріпиться до нерухомих санчат супорта. Так як площа поршня 5 порожнини 3 в два рази менше площі поршня 5 порожнини 6, то при однаковому тиску масла в обох порожнинах супорт 16 буде підведений до лінії центрів. Тиск масла в порожнині 6 регулюється золотником 10 гідророзподільника 8 який під дією пружини 11 прагне перекрити канал 7; при цьому штоком 12 і важелем 13 наконечник 14 щупа притискається до копіру 15. При русі по копіру наконечника 14 важіль 13 стискає пружину 11 і змінює прохідний переріз для виходу олії з порожнини 6 у зливну магістраль 9. При цьому 6 . збереження тиску в порожнині 3, що змістить супорт 4 в напрямку від осі центрів і відносно нерухомого поршня 5. Разом з супортом 4 переміститься корпус розподільника 8 і приведе систему в рівновагу [11].

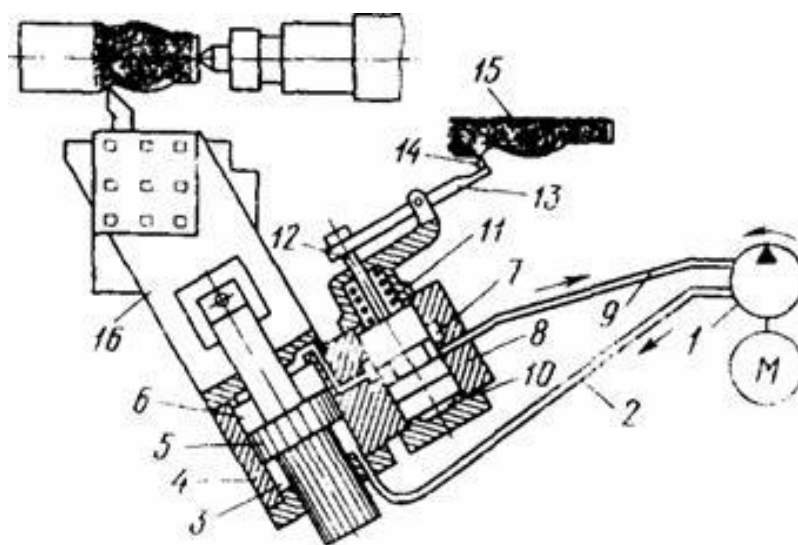


Рисунок 3.2 – Гідросупорт

До засобів автоматизації можна віднести пристрої керування (датчики, кулачки, обмежувачі, кінцеві вимикачі, упори) та вимірювання, завантажувальні пристрої, пристрої збирання стружки, дія яких скоординована з роботою верстата і вимагає втручання робітника тільки при налагодженні верстата або при налагодженні в процесі роботи [11].

При обслуговуванні верстата застосовують різні завантажувальні пристрої для сортового матеріалу (прутків, труб, дроту тощо) та штучних заготовок (поковок, штампувань, виливків). Завантажувальні пристрої для штучних заготовок в залежності від ступеня автоматизації ділять на механізовані (підйомно–транспортне обладнання), напівавтоматичні (магазинні пристрої), автоматичні (бункерні пристрої, роботи–маніпулятори) [11].

В умовах серійного виробництва деталей ефективно використання автоматів та напівавтоматів, що обробляють деталі типу втулок, кілець, валів, включаючи контроль їх розмірів, автоматично, без участі робітника, який стежить за справною роботою автомата, періодично завантажує його заготовками та контролює якість обробки [11].

Обробка деталей на напівавтоматі проводиться за участю робітника, який здійснює зміну заготівлі, пуск верстата, вимірювання обробленої деталі та ін.

Токарні автомати і напівавтомати в залежності від орієнтації осі шпинделя поділяють на горизонтальні та вертикальні, в залежності від кількості шпинделів – на одношпиндельні та багатошпиндельні, в залежності від застосовуваної заготовки (пруток, труба, поковка, виливок, штампування та ін.) – на пруткові та патронні [11].

Автомати та напівавтомати, пов'язані між собою транспортними та завантажувальними пристроями, утворюють автоматизовані ділянки (якщо є можливість переналагодження на обробку іншої деталі) або автоматичну лінію (якщо така можливість практично відсутня) [11].

Верстати з ЧПУ порівняно із звичайними мають такі переваги: підвищення продуктивності та скорочення часу переналагодження верстата з однієї деталі на іншу; скорочення термінів підготовки виробництва та ін.

Висока ефективність досягається при використанні верстатів із ЧПУ для обробки деталей зі складними криволінійними поверхнями. Більшість токарних верстатів з ЧПУ застосовують для обробки ступінчастих валів, осей, втулок, фланців, дисків та ін. [11].

Токарні верстати з ЧПУ мають високий рівень автоматизації. У них може бути автоматизовано (крім формоутворюючих рухів) перемикання частот обертання шпинделя, зміна інструментів, включення та вимикання охолодження, регулювання витрати СОЖ, Включення та вимкнення механізмів стружко-дріблення та стружковидалення. За характером управління рухами органів верстата системи ЧПУ ділять на позиційне, контурне та змішане [11].

Позиційне програмне управління – це управління верстатами, необхідне автоматичної установки робочого органу на позицію, задану програмою.

Контурне числове програмне управління застосовується для обробки деталей складної форми з криволінійними поверхнями. Це управління забезпечує автоматичне переміщення робочого органу траєкторією, заданою програмою.

Комбіноване числове програмне управління поєднує функції контурного та позиційного програмного управління [11].

Сучасний стан металорізального обладнання з програмним управлінням передбачає такі основні типи цього обладнання та систем керування.

Верстати з оперативними системами програмного управління, що забезпечують підготовку програми, що управляє, безпосередньо на робочому місці, на основі широкого використання типових технологічних циклів обробки, що зберігаються в пам'яті пристрою. Ця група верстатів має замінити найпоширеніші універсальні токарні верстати. Верстати з оперативними

системами управління розраховані обслуговування робочим, здатним у режимі діалогу із системою управління сформувати керуючу програму, вводячи конкретні значення стандартний технологічний цикл обробки. На верстатах цієї групи обробляють партії деталей напівавтоматичному режимі; під час роботи ними продуктивність підвищується в 1,5–2 разу проти універсальним устаткуванням [11].

Багатоцільові верстати оснащують багатопроцесорними, продуктивними системами управління, що забезпечують різке спрощення формування керуючої програми, запровадження необхідних корекцій на відхилення заготівлі, інструментів, режимів обробки, що передбачають наявність пристрою для діагностики стану всіх основних систем верстата, попередження шлюбу та інші функції. Ця група верстатів орієнтована на серійне виробництво деталей та забезпечує зростання продуктивності у 2–3 рази порівняно з універсальними верстатами з ручним керуванням.

Для обробки найскладніших і найдорожчих деталей, насамперед деталей важкого машинобудування, передбачено випуск верстатів, що характеризуються наявністю універсальних систем програмного управління з вбудованими ЕОМ та вільним програмуванням необхідних алгоритмів обробки, підвищенням ролі системи управління в корекції похибок механічних складальних одиниць верстата та вимірювальних систем.

Обладнання з функціональними системами програмного управління, що забезпечують керування режимом обробки (головним приводом та приводом подач), послідовністю роботи механізмів верстата, граничними переміщеннями по осях координат. До цієї групи належать автоматичні лінії для механічної обробки, у яких підвищується коефіцієнт використання за рахунок застосування електронного керування циклами роботи, лічильників роботи інструментів з одночасним використанням центральної ЕАМ для діагностики та планування роботи всього комплексу; автомати та агрегатні верстати з циклами роботи, що переналагоджуються, придатні до використання у багатосерійному

виробництві; токарно–револьверні верстати з автоматичним циклом роботи, що задається електронною системою керування [11].

Гнучкі виробничі системи на основі спільного використання верстатів з програмним управлінням та промислових роботів для комплексної обробки широкої номенклатури деталей, а також виконання ряду складальних операцій.

Високоавтоматизовані, гнучкі виробничі модулі з програмним управлінням, що вимагають обмеженого втручання персоналу, що обслуговується, здатні автономно функціонувати протягом однієї – двох змін і призначені для обробки деталей типу тіл обертання і корпусних деталей.

Величезна кількість морально застарілих верстатів може бути раціонально використано шляхом модернізації силами підприємства. Модернізація обладнання не є тимчасовим заходом. У зв'язку з тим, що моральне старіння верстатного обладнання відбувається значно швидше за його фізичне зношування, промислові підприємства змушені постійно займатися питаннями модернізації верстатів [11].

Експериментальний науково–дослідний інститут металорізальних верстатів (ЕНІМС) розробив низку типових проєктів модернізації найпоширеніших моделей верстатів. Однак за цими проєктами можна модернізувати лише малу частину застарілих верстатів як внаслідок різноманітності їх моделей, так і різноманітність цілей модернізації [11].

Нижче наведено основні завдання модернізації токарних верстатів:

1. Підвищення потужності та швидкохідності верстата, що досягається модернізацією приводу головного руху.
2. Збільшення подачі шляхом модернізації приводу.
3. Підвищення рівня автоматизації верстата для скорочення допоміжного часу обробки.
4. Автоматизація циклу обробки.
5. Розширення технологічних можливостей верстата.

Існує кілька способів модернізації приводу головного руху верстата: підвищення швидкохідності головного руху приводу, підвищення швидкохідності шпинделя, використання приставних коробок швидкостей.

4 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ ДЕТАЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ МІЦНОСНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО ПАКЕТУ

Деталі машин повинні мати певний запас міцності й жорсткості, величина якого для сталей при статичному навантаженні приймається 1,5...3. А розміри і конструкція деталей машин повинні забезпечувати спротив деформуванню та руйнуванню під дією прикладених навантажень, що перевищують допустимі.

Запас міцності враховує розкид механічних властивостей матеріалів, призначених для відповідних деталей, залежить від ступеня відповідальності конструкції та умов її експлуатації. Запас міцності по напруженням визначається за наступною формулою:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{max}} \quad (2.38)$$

де $[\sigma]$ – допустиме значення границі плинності для сталі 40Х;

σ_{max} – максимальне напруження, яке виникає в деталі.

Тому напруження, яке виникає в деталі повинне відповідати наступній вимозі:

$$\sigma_{max} \leq \frac{[\sigma]}{k} \quad (2.39)$$

Вихідні данні:

- 1) обертовий момент $T = 286 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- 2) частота обертання $n = 100 \text{ об/хв}$.

Під час роботи вал зазнає дії згину та кручення. Розрахунок напружено–деформованого стану деталі виконуємо у модулі NX CAM. Перед початком розрахунку було створено 3D–модель валу (рис. 2.8).

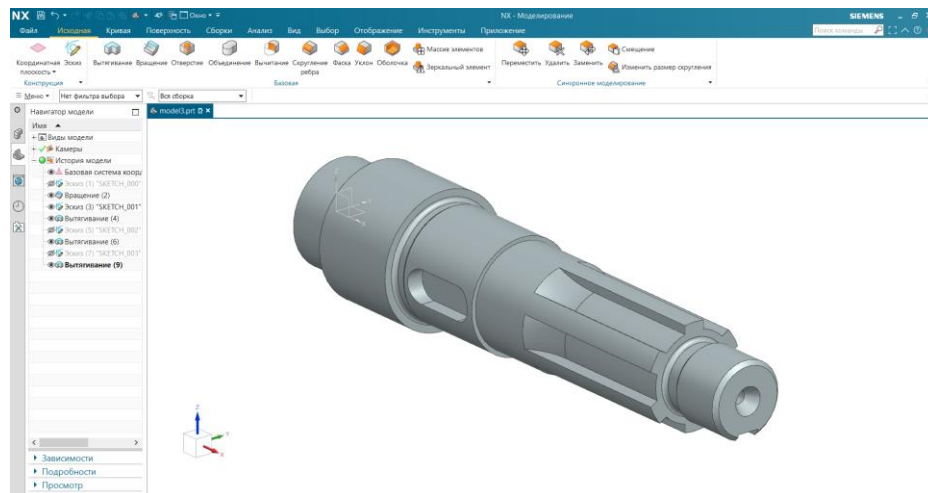


Рисунок 2.8 – 3D–модель вала

Далі 3D–модель було розбито на сітку кінцевих елементів (рис. 2.9).

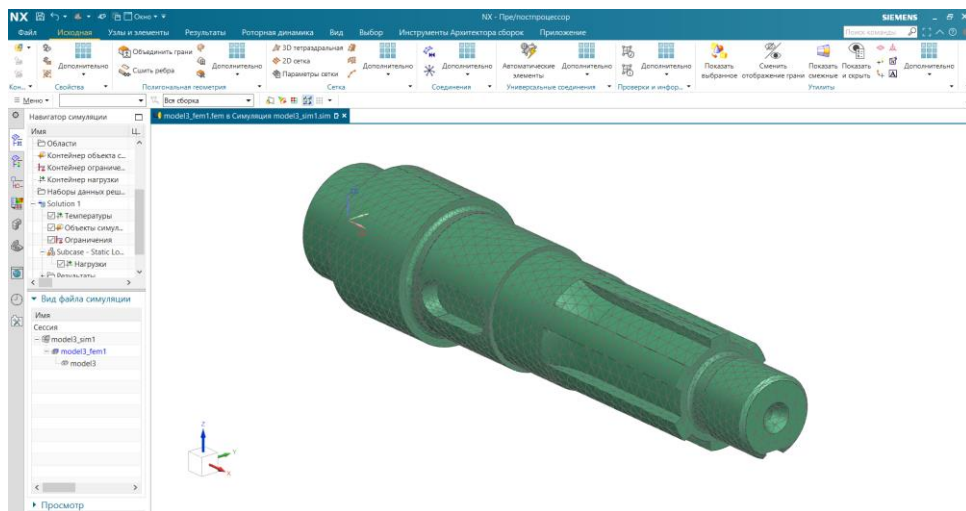


Рисунок 2.9 – 3D–модель, розбита на сітку кінцевих елементів

На наступному етапі на деталі було прикладено обмеження: закріплення в місцях встановлення підшипників та обертові моменти в місцях встановлення шестерні та муфти (рис. 2.10).

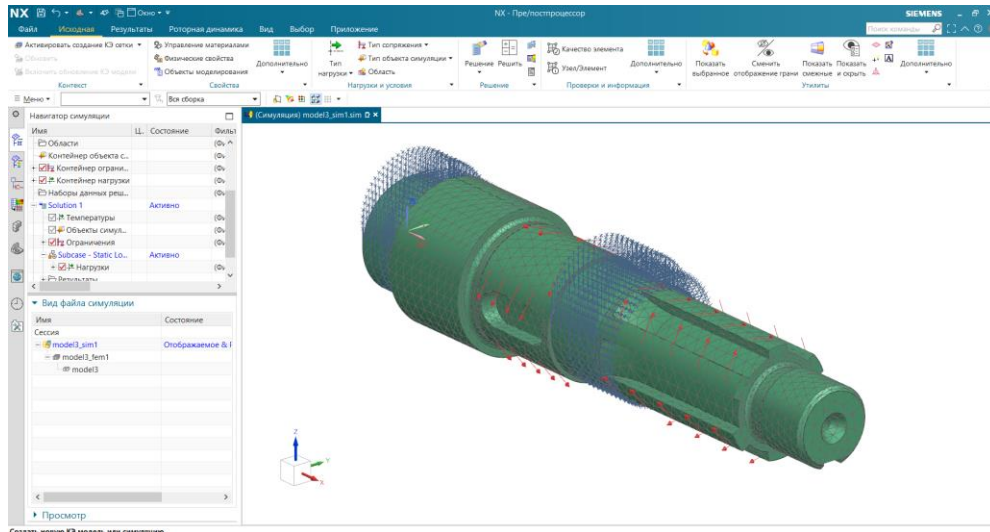


Рисунок 2.10 – 3D–модель з накладеними обмеженнями

Далі було виконано розрахунок напружено–деформованого стану валу та отримано графічне зображення розподілу напружень (рис. 2.11).

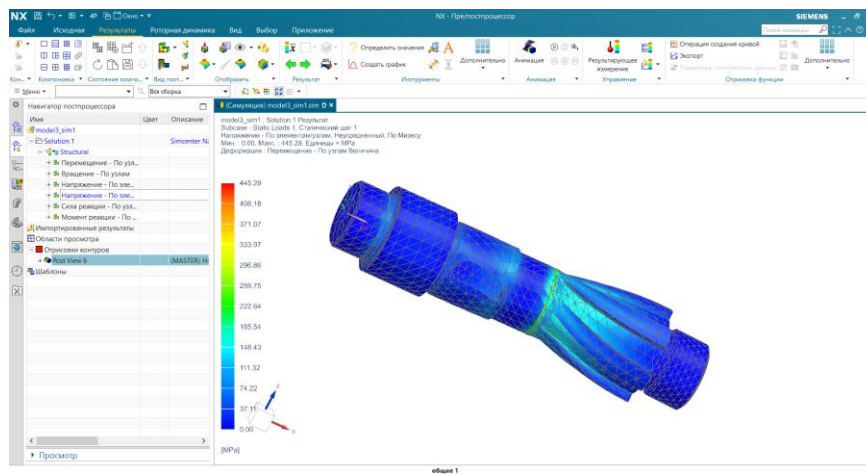


Рисунок 2.11 – Розподіл напружень

$$\sigma_{max} = 445,29 \text{ МПа} \leq \frac{730}{1,5} = 486,7 \text{ МПа}$$

Результати розрахунку виявили більше ніж 1,5 рази запас міцності валу. Тому конструкцію деталі ті її розміри можна вважати прийнятими. Небезпечний переріз знаходиться в куті переходу посадкового діаметру підшипника $\varnothing 25$ мм та посадкового діаметра зубчатого колеса $\varnothing 27$ мм, максимальне напруження в ньому дорівнює 445,29 МПа.

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

5.1 Основні шляхи підвищення довговічності шліцьових з'єднань

Довговічність деталей дуже стисло пов'язана з експлуатаційними характеристиками деталі. Тому, в даному розділі розглянуті основні методи її підвищення. Основною поверхнею, яка істотно впливає на довговічність валу є шліцьові поверхні.

Досвід заводів, аналіз даних експлуатації та проведені дослідження визначають основні шляхи підвищення довговічності шліцьових з'єднань [13], а саме: оптимізація технічних вимог до точності виготовлення та геометрії шліцьових з'єднань, застосування раціональних методів механічного зміцнення, термічної та хіміко–термічної обробки, зменшення сил тертя на контактуючих поверхнях та розробка достовірних методів розрахунку шліцьових сполучень.

Для підвищення зносостійкості шліцьових з'єднань і довговічності зубчастих коліс, що сполучаються з валом, доцільно призначення посадок по центруючого діаметру шліцьового з'єднання з мінімальними зазорами. При зменшенні зазору по центруючого діаметру обмежується перекис зубчастого колеса на валу, який може виникнути за рахунок відхилення від паралельності зубів валу або втулки щодо осі деталі [13].

Бічний зазор у шліцьовому з'єднанні при постійному односторонньому навантаженні практично не впливає на довговічність з'єднання. Однак такий режим не характерний для більшості машин під час роботи в умовах експлуатації. При цьому слід враховувати, що бічні зазори в шліцьовому з'єднанні істотно впливають на загальний зазор кутовий в кінематичному ланцюгу механізму. При певному перевищенні цього проміжку різко збільшуються вібрації, шум, підвищується навантаженість деталей, що в деяких випадках може призвести до аварійних ситуацій. Тому ці фактори слід вважати такими, що обмежують застосування великих бічних зазорів.

Зменшення відхилення від паралельності зубів валу щодо його осі є найважливішим фактором підвищення довговічності зубчастих коліс та зносостійкості шліцьових з'єднань. При виробництві шліцьових валів цього можна досягти шляхом введення у технологічний процес операції шліфування зубів після термічної обробки [13].

Необхідно введення обов'язкового контролю відхилення від паралельності зубів валу до осі. Існуючий метод виробничого контролю шліцьових валів комплексним калібром (шліцьовим кільцем) не забезпечує контролю граничної величини відхилення від паралельності зубів у зв'язку із зазорами з бокових і центруючих поверхонь зубів. Введення контролю відхилень від паралельності зубів не викликає збільшення трудомісткості у виробництві шліцьових валів. Відхилення від паралельності зубів валу є систематичною похибкою постійної за величиною для даної налагодження верстата. Отже, виключається необхідність у 100% контролі — достатній періодичний контроль [13].

За наявності перекосу валів, що з'єднуються, потенційна навантажувальна здатність шліцьового з'єднання різко зменшується. При перекосі характер контакту змінюється від контакту по всій поверхні до контакту тільки двох зубів. Якщо величина деформації ведучого зуба перевищує величину зазорів в інших зубів, то стикаються і ці зуби, однак вони сприйматимуть відповідно менші навантаження, ніж ведучі зуби. Крім того, при перекосі є відносні переміщення контактуючих поверхонь, величина і швидкість яких підвищуються зі збільшенням кута перекосу деталей, що з'єднуються.

Підрахунок навантажень для шліцьових з'єднань з різною довжиною втулки показав, що за винятком випадку нульового перекосу допустимі навантаження загалом більше для з'єднань з меншою довжиною, що стає очевиднішим у міру збільшення кута перекосу. Звідси випливає, що довжину шліцьового з'єднання, що працює в умовах перекосу, слід приймати якомога

коротшою, наскільки це дозволяють інші умови. Для зменшення довжини з'єднання вигідніше застосовувати більші модулі шліцьового з'єднання [13].

Наведені дані визначають нагальну необхідність зменшення перекосів у шліцьових з'єднаннях для підвищення їх надійності та довговічності.

Дуже ефективним конструкторським заходом щодо підвищення зносостійкості шліцьових з'єднань є зниження або повне усунення ковзання робочих поверхонь зубів у процесі роботи з'єднання. Це досягається, наприклад, за рахунок застосування додаткових циліндричних або конічних поверхонь, що центрують, сприймають радіальне навантаження і згинальний момент [13].

Довговічність шліцьових з'єднань значно підвищується за рахунок збільшення твердості деталей. У трансмісіях тракторів раніше застосовували шліцьові з'єднання з твердістю робочих поверхонь HRC 20...30, зношування яких за 200 год роботи досягало 2,0 мм. Підвищений знос з'єднань малої твердості викликав як необхідність частої заміни шліцьових валів, а й призводив до передчасного виходу з ладу зубчастих коліс. Це пояснюється тим, що при несиметричному розташуванні вінця зубчастого колеса щодо шліцьової маточини тиску на бічній поверхні зубів неоднакові по довжині валу. Нерівномірність навантаження зубів шліцьового з'єднання викликає нерівномірне їх знос і, як наслідок, відхилення від паралельності і перекіс осей зубчастих коліс. Внаслідок цього втрачається правильність взаємного прилягання профілів зубів зубчастих коліс і різко підвищується навантаження на вузьких ділянках зубів за їх довжиною. Концентрація навантаження призводить до поломки або прискореного фарбування зубів зубчастих коліс. Впровадження в тракторобудуванні загартування шліцьових деталей до високої твердості (HRC 50) дозволило значною мірою підвищити довговічність деталей трансмісій. Підвищення твердості зубів шліцьових сполучень з HRC 20...30 до HRC 50 призвело до збільшення їхньої зносостійкості в 3,5–5,5 рази [13].

Обстеження шліцьових з'єднань верстатів в експлуатації показало, що швидкість зношування з'єднань із незагартованими зубами вище, ніж із загартованими, в 5 разів і більше. На підставі цього рекомендується проводити загартування шліцьових валів, що працюють при високих напругах, валів з шестернями, що переміщуються під навантаженням, і валів з постійно працюючими швидкохідними зубчастими колесами.

Як показали дослідження [13], резервом підвищення довговічності шліцьових з'єднань у трансмісіях машин є застосування для виготовлення валів сталей, що цементуються, з термообробкою до твердості HRC 58 ...63.

Прогресивною є технологія виготовлення шліцьових валів з поверхневим загартуванням при нагріванні струмами високої частоти (ТВЧ). При загартуванні з нагріванням ТВЧ утворюється структура мартенситу, що забезпечує більшу зносостійкість, ніж сорбітова структура, що отримується за інших методів термічної обробки валів. Загартування поверхні зубів на високу твердість за наявності в'язкої серцевини підвищує міцність деталі, значно знижує короблення. Обладнання для гарту з нагріванням ТВЧ повністю автоматизується [13].

Підвищення зносостійкості шліцьових з'єднань можна досягти за рахунок застосування інших методів хіміко-термічної обробки. Шляхом введення азотування та ціанування поверхні зубів валу вдається у 2,5–3 рази збільшити термін служби з'єднання. Мінімальне викривлення деталі отримано при ціануванні на глибину 02–03 мм, твердість ціанованого шару HRC 50.

Втомна міцність шліцьових валів значно підвищується поверхневим зміцненням зубів і перехідних ділянок шліцьового профілю шляхом обдування дробом або обкатуванням роликками [13].

Наявність мастила в шліцьовому з'єднанні забезпечує його більшу зносостійкість внаслідок того, що повністю або частково виключається безпосередній контакт бічних поверхонь. Внаслідок гідродинамічного ефекту мастила при відносних переміщеннях збільшуються розміри дійсних

одиночних контактів, що знижує тиск у них. Наявність у контакті масляного шару виключає контактну корозію та захоплювання поверхонь валу та втулки [13].

Діяльність досліджували чинники, що впливають товщину масляної плівки в шліцьовому з'єднанні. Рішенням контактної–динамічної задачі отримано формулу для визначення мінімальної товщини масляного шару в залежності від в'язкості олії, швидкості відносного переміщення поверхонь, радіусу одиночного контакту та твердості поверхні. Було виявлено, що шліцьові з'єднання зношуються інтенсивніше при розвитку на їх бокових поверхнях контактної корозії. З метою виключення контактної корозії рекомендується забезпечувати теоретичну товщину масляного шару $0,8 \cdot 10^{-4}$ см підбором в'язкості масла і зміною швидкості відносного переміщення. Підвищення в'язкості масла позитивно впливає на зносостійкість шліцьових з'єднань. Наприклад, зміна її з 13 до 75 повністю усувала знос зубів у сполуках, де раніше спостерігалися зноси до 10 мкм за 106 циклів навантаження. Збільшення частоти обертання шліцьових з'єднань, що працюють за хороших умов мастила, під якими розуміється гарантований приплив олії або рясне попадання мастила на торці зубів при довжині шліцьового з'єднання не більше одного діаметра, за інших рівних умов призводить до збільшення товщини масляного шару [13].

Ефективним засобом підвищення довговічності високо – навантажених рухомих під навантаженням шліцьових з'єднань, на поверхнях, що контактують, яких розвиваються великі тиски і високі температури, є застосування спеціальних тугоплавких пластичних мастил з присадкою дисульфиду молібдену. Як показали випробування, шліцьові сполуки з молібденовим мастилом можуть витримати вищі навантаження без задирок і заїдань, ніж зі звичайним пластичним мастилом.

Заслуговує на увагу застосування нейлонових покриттів для збільшення зносостійкості робочих поверхонь зубів. Нейлон відрізняється хорошими антифрикційними властивостями та високою зносостійкістю, у

тому числі за наявності абразивних частинок у зоні тертя. Він хімічно стійкий до впливу масел і може застосовуватися у поєднанні з такими наповнювачами, що знижують коефіцієнт тертя, як тефлон, дисульфід молібдену та графіт. Через зниження коефіцієнта тертя зменшується погіршення мастильних властивостей олії. Нейлонове покриття добре змащується різними сортами масел. При застосуванні нейлонового покриття в шліцьовому з'єднанні покращується демпфування вібрацій, підвищується опір втоми зубів, так як навантаження розподіляється по робочій поверхні більш рівномірно внаслідок підвищеної порівняно зі сталевими поверхнями податливістю матеріалу. Шліцьове з'єднання з нейлоновим покриттям практично не зазнає конструктивних змін, за винятком деякого зменшення товщини і зовнішнього діаметра зуба карданного валу [13].

Застосування нейлонового покриття дало змогу зменшити коефіцієнт тертя з 0,3 до 0,06.

Є всі підстави вважати, що засмічення олії абразивними частинками підвищує знос контактуючих поверхонь шліцьових з'єднань. Тому питання герметизації трансмісії має істотне значення у спільній проблемі збільшення зносостійкості шліцьових з'єднань [13].

Таким чином, необхідно відмітити, що серед всіх розглянутих методів самий істотний ефект буде надавати саме зміцнення поверхонь шліців.

Важлива роль у забезпеченні високої надійності і довговічності шліцьових з'єднань на стадії проектування відводиться розробці достовірних методів їх розрахунку з урахуванням дійсного механізму роботи шліцьових з'єднань.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

При вдосконаленні технологічного процесу виготовлення валу було запропоновано змінити обробку на універсальних токарно–гвинторізних верстатах за базовою технологією обробкою на токарних верстатах з ЧПК (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Удосконалення технології виготовлення деталі «Вал»

За базовою технологією			За запропонованою технологією		
Найменування операцій	Обладнання	$t_{шт-к}$	Найменування операцій	Обладнання	$t_{шт-к}$
010 Токарна	1K62	17,2	010 Токарна з ЧПК	DOOSAN PUMA GT 2100	3,16
015 Токарна	1K62	15,3	015 Токарна з ЧПК	DOOSAN PUMA GT 2100	4,37
020 Токарна	1K62	12,5	020 Токарна з ЧПК	DOOSAN PUMA GT 2100	3,38
025 Токарна	1K62	18,3	025 Токарна з ЧПК	DOOSAN PUMA GT 2100	5,14
030 Токарна	1K62	17,5			
035 Токарна	1K62	7,3			
040 Токарна	1K62	6,5			

Економічний ефект від вдосконалення технологічного процесу [12] розраховується за формулою:

$$E = (C_1 - C_2) \cdot N, \quad (4.1)$$

де C_1, C_2 – собівартість виготовлення деталі згідно базової технології та запропонованої технології;

N – річна програма випуску, шт.

Собівартість виготовлення деталі [10] розраховується за формулою:

$$C = Z + H + E + A + O + P + Ж, \quad (4.2)$$

де Z – витрати на заробітну плату, грн;

H – нарахування на фонд оплати праці, грн;

E – витрати на електроенергію, грн;

A – амортизаційні відрахування, грн;

O – витрати на обслуговування обладнання, грн;

P – витрати на ремонт обладнання, грн;

$Ж$ – витрати на ЗОТС, грн.

Заробітна плата робітника:

$$Z = \sum \left(C_{Tj} \cdot \frac{t_{штj}}{60} + П \right), \text{ грн} \quad (4.3)$$

де C_T – годинна ставка працівника, грн/год; для операторів верстатів з ЧПК 4-го розряду – 43,5 грн/год; для токарів 5-го розряду – 57,5 грн/год;

$t_{шт}$ – штучний час згідно табл. 1.10, хв;

$П$ – премія, складає 20% від заробітної плати, грн.

$$Z_1 = \frac{(17,2+15,3+12,5+18,3+17,5+7,3+6,5)}{60} \cdot 57,5 \cdot 1,2 = 108,79 \text{ грн.}$$

$$Z_2 = \frac{(3,16+4,37+3,38+5,14)}{60} \cdot 43,5 \cdot 1,2 = 13,96 \text{ грн.}$$

Податкові нарахування на фонд оплати праці розраховуються за формулою:

$$H = \frac{Z \cdot 22\%}{100}, \text{ грн} \quad (4.4)$$

$$H_1 = \frac{108,79 \cdot 22\%}{100} = 23,93 \text{ грн.}$$

$$H_2 = \frac{13,96 \cdot 22\%}{100} = 3,07 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію [12] розраховуються за формулою:

$$E = \sum P_{\Sigma} \cdot \frac{t_{\text{шт}}}{60} \cdot E_{\text{ст}} \cdot k_1 \cdot k_2, \text{ грн} \quad (4.5)$$

де $E_{\text{ст}}$ – вартість електроенергії на виробництві, складає 4,46 грн/кВт·год [13];

P_{Σ} – сумарна потужність вживаного електроустаткування, для токарних верстатів з ЧПК – 18,5 кВт; для універсальних токарно–гвинторізних верстатів – 10 кВт;

k_1, k_2 – коефіцієнти, що ураховують відповідно використання електродвигунів по потужності та по часу [12];

$$E_1 = \frac{(17,2+15,3+12,5+18,3+17,5+7,3+6,5)}{60} \cdot 4,46 \cdot 10 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 34,45 \text{ грн.}$$

$$E_2 = \frac{(3,16+4,37+3,38+5,14)}{60} \cdot 4,46 \cdot 18,5 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 10,81 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування в перерахунку на одну деталь залежать від терміну експлуатації і розраховуються за формулою:

$$A = \frac{O_{\text{обл}}}{N \cdot M}, \text{ грн} \quad (4.6)$$

де $O_{\text{обл}}$ – вартість обладнання, грн;

M – термін експлуатації;

N – річна програма випуску, шт.

При базовій технології виробництва використовуються токарно–гвинторізні верстати моделі 1К62, вартість яких складає $O_{\text{обл1}} = 250000$ грн. У запропонованій технології використовуються токарні верстати з ЧПК DOOSAN PUMA GT 2100, ціна яких складає $O_{\text{обл2}} = 5400000$ грн. Так як на верстатах також обробляються інші деталі, то амортизація вартості

обладнання ділиться на всі. Тому річне виробництво партії деталей «Вал» на токарно–гвинторізному верстаті складає 10% річного завантаження обладнання, а на токарний верстат з ЧПК DOOSA PUMA GT 2100 – 3%.

$$A_1 = \frac{250000 \cdot 0,1}{2000 \cdot 10} = 1,25 \text{ грн.}$$

$$A_2 = \frac{5400000 \cdot 0,03}{2000 \cdot 10} = 8,1 \text{ грн.}$$

Витрати на обслуговування обладнання [12] розраховуємо за формулою:

$$O = \frac{\alpha \cdot 1,15 \cdot O_{\text{ОБЛ}}}{F_d \cdot 60}, \text{ грн} \quad (4.7)$$

де F_d – дійсний фонд роботи обладнання;

α – процент відрахувань від балансової вартості обладнання.

$$O_1 = \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 250000}{4015 \cdot 60} = 0,59 \text{ грн.}$$

$$O_2 = \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 5400000}{4015 \cdot 60} = 12,88 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання [12] розраховуємо за формулою:

$$P = \frac{\alpha_1 \cdot 1,15 \cdot O_{\text{ОБЛ}}}{F_d \cdot 60}, \quad (4.8)$$

де α_1 – процент відрахувань від балансової вартості обладнання.

$$P_1 = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 250000}{4015 \cdot 60} = 5,37 \text{ грн.}$$

$$P_2 = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 5400000}{4015 \cdot 60} = 116 \text{ грн.}$$

Витрати на ЗОТС обчислюються за наступною формулою:

$$Ж = C_{ж} \cdot O_{ж} / 1000, \text{ грн} \quad (4.9)$$

де $C_{ж}$ – вартість 1 л ЗОТС, скл а дає 8 грн/л;

$O_{ж}$ – об'єм ЗОТС, потрібний для обробки однієї деталі (50 мл).

$$Ж_{1,2} = 8 \cdot \frac{50}{1000} = 0,4 \text{ грн.}$$

Визначимо собівартість за формулою (4.2):

$$C_1 = 108,79 + 23,93 + 34,45 + 1,25 + 0,59 + 5,37 + 0,4 = 174,78 \text{ грн.}$$

$$C_2 = 13,96 + 3,07 + 10,81 + 8,1 + 12,88 + 116 + 0,4 = 165,22 \text{ грн.}$$

Розрахуємо економічний ефект за формулою (4.1):

$$E = (174,78 - 165,22) \cdot 2000 = 19120 \text{ грн.}$$

Згідно проведених розрахунків оцінки очікуваної економічної ефективності впровадження вдосконаленої технологічної обробки валів з заміною обробки на універсальних токарних верстатах обробленням на верстатах з ЧПК дає змогу зекономити 19120 грн.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

В Україні для забезпечення здоров'я працюючих на будь-якому підприємстві передбачений комплексний підхід для гарантії безпеки та комфорту. Держава розробляє та постійно оновлює нормативно-правову документацію, активно враховуючи інформацію по динаміці травматизму та розвитку професійних захворювань на різних підприємствах та в різних регіонах країни. Крім того, враховується досвід та сучасні досягнення по проблемі забезпечення безпеки на підприємствах та на побутовому рівні в країнах Європи та США. Згідно закону «Про охорону праці» передбачено суворе дотримання вимог ДНАОП, ДБН та ДСН, норм, правил, інструкцій керівником будь-якого підприємства. Дотримання та виконання рекомендацій чинних нормативів з охорони праці та пожежної безпеки передбачено на всіх рівнях організації виробничого процесу, тобто від стадії проектування та будівництва до розробки заходів у надзвичайних ситуаціях. Питання щодо створення здорових, а в сучасному світі і ергономічних, умов праці супроводжує конструкційні розробки, інженерно-дослідні рішення, технології виготовлення деталей. Постійно удосконалюються навички проведення фахівцями аналізу потенційних небезпек, що можуть мати місце в серійному виробництві. Кожен співробітник є також невід'ємною частиною сучасного безпечного виробництва. Проходження навчання з питань охорони праці відповідно НПАОП 0.00–4.12–05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», дотримання усіх рекомендацій посадових інструкцій та інструкцій на робочих місцях, медичних оглядів і профілактичного лікування (Наказ міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій»), постійне використання засобів індивідуального захисту та періодичне підвищення кваліфікації є запорукою безпечності працівників [14].

Аналізуючи умови праці, що притаманні сучасному виробництву, необхідно зазначити, що в останні роки суттєво зменшилась кількість професій, де виконується важка, фізична робота. З розвитком сучасних технологій постійно збільшується інтелектуальний труд. Особи, що постійно застосовують комп'ютерну техніку відчувають постійний інтенсивний вплив на нервово-емоційну систему та орган зору. Погіршення зору та захворювання органу зору можна визначити як проблему сучасного суспільства, а не тільки потенційну небезпеку, що пов'язано з виробничим процесом. [15, 16].

Для дотримання комфортних умов на робочому місці рівень загального освітлення повинен відповідати рекомендаціям ДБН В.2.5–28–2018 «Природне і штучне освітлення». Для визначення необхідної кількості освітлювальних приладів в залежності від площі приміщення та його висоти застосовується метод світлового потоку. [17]

Виконаємо розрахунок для приміщення, що має довжину $A = 8,5$ м, ширину $B = 5,5$ м, висоту $H = 3,8$ м. Згідно рекомендаціям Директиви Ради ЄС 90/270 «Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями» де зазначені ергономічні рекомендації по забезпеченню більшої зручності під час виконання роботи сидячи, бажано щоб висота робочого столу дорівнювала $h = 0,8$ м. [15].

Освітлення в робочому приміщенні обов'язково нормується і дорівнює $E_n = 200$ Лк, якщо розряд зорової роботи – III г. Згідно рекомендацій з технічної естетики приміщення оформлено у світлих кольорах, що дає можливість гарантувати значення коефіцієнтів відбиття поверхонь: від: стелі – ρ_C ; 70%; стін – $\rho_{CT}=50\%$; підлоги – $\rho_{П}=30\%$.

Аналізуючи переваги та недоліки світильників, що розповсюджені на сучасному ринку (ЛСП, ЛПО, ЛВП та інші перевагу надаємо світильнику типу ЛСП, що має ступінь захисту світильника $IP = 54$, відношення $[L/h] = 1$, високий коефіцієнт використання світлового потоку та приємний естетичний вигляд.

Коефіцієнт запасу k_3 враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймається в залежності від виробничих умов, $k_3 = 1,4$. [17].

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення z (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості), для люмінесцентних ламп низького тиску, як правило дорівнює $z = 1,1$. [17]

Розрахуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot [L/h]}, \quad (7.1)$$

$$N_p = \frac{5.5}{(3.8 - 0.8) \cdot 1.3} = 1.4 \approx 2.$$

Визначимо максимально припустиму відстань між рядами світильників

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p}, \quad (7.2)$$

де B – ширина приміщення, N_p – кількість рядів.

$$L_{\max} = \frac{5.5}{2} = 2.75 \text{ м.}$$

Розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею

$$h = \frac{L_{\max}}{[L/h]}, \quad (7.3)$$

$$h = \frac{2.75}{1.3} = 2.11 \text{ м.}$$

Знайдемо висоту звисання світильника від стелі

$$h_3 = H - h_p - h, \quad (7.4)$$

де H – висота приміщення;

h_p – висота робочої поверхні,

h – висота підвісу світильника над робочою поверхнею.

$$h_3 = 3,8 - 0,8 - 2,11 = 0,89 \text{ м.}$$

Чисельне значення індексу приміщення визначаємо за рівнянням:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \quad (7.5)$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м

$$i = \frac{8,5 \cdot 5,5}{2,11 \cdot (8,5 + 5,5)} = 1,58.$$

Розрахований індекс впливає на значення коефіцієнту використання світлового потоку η , що обирається по таблицям в залежності від типу світильника та коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення (ρ_c , $\rho_{ст}$, $\rho_{п}$).
 $\eta = 0,4$.

Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному виробничому приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\eta}, \quad (7.6)$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, лм;

E_n – нормоване значення освітленості, лк;

S – площа освітлюваної поверхні, m^2 ;

k_3 – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 \cdot (8,5 \cdot 5,5) \cdot 1,4 \cdot 1,1}{0,4} = 35997 \text{ лм.}$$

Визначасмо умовну загальну кількість світильників у приміщенні:

$$N^* = AB/L_{\max}^2, \quad (7.7)$$

$$N^* = \frac{8,5 \cdot 5,5}{2,75^2} = 6,18.$$

Розрахуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{\text{л}}}, \text{ лм} \quad (7.8)$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, лм;

$N_{\text{л}}$ – загальна кількість ламп у приміщенні, шт;

$$N_{\text{л}} = N^* \cdot n \quad (7.9)$$

де n – кількість ламп у світильнику (в ЛСП світильнику 2 лампи).

$$N_{\text{л}} = 6,18 \cdot 2 = 12,36 \text{ шт.}$$

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{35997}{12,36} = 2912 \text{ лм.}$$

Згідно рекомендацій [5] обираємо стандартну люмінесцентну лампу, що має близьке (до розрахункового) значення світлового потоку. Це лампа типу ЛБ 36, її світловий потік $\Phi_{\text{л}} = 3005$ лм, довжина 1,2 м.

Розраховуємо коефіцієнт m (співвідношення між розрахунковим світловим потоком лампи $\Phi_{\text{л}}^*$ та фактичним світловим потоком вибраної стандартної лампи $\Phi_{\text{л}}$):

$$m = \frac{\Phi_{\text{л}}^*}{\Phi_{\text{л}}} \quad (7.10)$$

$$m = \frac{2912}{3005} = 0,96.$$

Визначаємо оптимальну (фактичну) кількість світильників у приміщенні: $N = Nm$

$$N = 12,36 \cdot 0,96 = 12 \text{ шт.} \quad (7.11)$$

Фактична кількість ламп у приміщенні:

$$N_{\text{фл}} = N_{\text{ф}} \cdot n. \quad (7.12)$$

$$N_{\text{фл}} = 12 \cdot 2 \text{ шт.}$$

Визначаємо загальну розрахункову освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_l N_{\text{фл}} \eta}{Sk_z}, \text{ лк} \quad (7.13)$$

$$E_p = \frac{3005 \cdot 12 \cdot 0,4}{8,5 \cdot 5,5 \cdot 1,4 \cdot 1,1} = 200,3 \text{ лк.}$$

Рекомендована умова виконується $E_p = (-10\% \dots +20\%) \cdot E_n, \text{ лк}$

Розрахуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_{\Sigma} = N_{\text{фл}} \cdot P_l, \text{ Вт}, \quad (7.14)$$

де P_l – потужність вибраної стандартної лампи.

$$P_{\Sigma} = 12 \cdot 36 = 432 \text{ Вт.}$$

Як правило, для штучного освітлення у всіх адміністративних приміщеннях, в технологічних та конструкторських бюро також застосовуються люмінесцентні лампи (типу ЛБ або ЛД). Ці лампи мають ряд переваг: термін експлуатації 10 – 15 тис. годин, економічні, надійні,

світловий потік – 40–50 лм/Ватт, що в 3–5 разів перевищує світлову віддачу ламп розжарювання. Таким чином, визначено, що у випадку застосування системи загального освітлення відповідно розрахунків, забезпечуються комфортні та безпечні для здоров'я працюючих умови [16].

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломного проекту був удосконалений маршрут виготовлення деталі, який містить замість токарної обробки на універсальних верстатах обробку на верстатах з ЧПК. За рахунок цих заходів зменшився загальний час оброблення деталі та собівартість її виготовлення.

Для токарної операції з ЧПК була розроблена керуюча програма в програмному забезпеченні NX.

Спроектовано робоче пристосування для фрезерної операції. Для нього було розраховано похибку встановлення, був проведений розрахунок на точність, розраховано зусилля затиску і обраний гідроциліндр. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю биття зовнішнього діаметра.

Розглянуто питання автоматизації токарної операції та виконані розрахунки міцності деталі, де враховані всі навантаження, які сприймає деталь під час роботи в вузлі.

Було розроблено рекомендації щодо вдосконалення технологічного процесу виготовлення валу, яке пов'язано з використанням операції по зміцненню поверхонь шліців. Було економічно обґрунтовано використання сучасного обладнання для виготовлення деталі, а також запропоновані заходи з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Справочник металлиста. В 5-и т. Т. 2. / [под. ред. А.Г. Рахштадта, В.А. Брострема]. – М. : Машиностроение, 1976, – 720 с.
2. Богуслаев В.О. Основы технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / В.О. Богуслаев, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.
3. ГОСТ 14.312–74. Единая система технологической подготовки производства. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 11 с.
4. ГОСТ 7505–89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 57 с.
5. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми (спеціалізації) «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / Укл. : Гончар Н.В., Тришин П.Р. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 61 с.
6. Справочник технолога–машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.
7. Справочник технолога–машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985.– 652 с.
8. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания при нормировании работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 472с.
9. Справочник нормировщика – машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.

10. Богуслаев В.А. Станочные приспособления / В. А. Богуслаев, В. А. Леховицер, А. С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 430 с.

11. Автоматизация и механизация токарной обработки : Электронний ресурс:URL:https://studref.com/477632/tehnika/avtomatizatsiya_mehanizatsiya_tokarnoju_obrabotki (дата звернення: 01.12.2022).

12. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології авіадвигунобудування і машинобудування для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування» і «Технологія будування авіаційних двигунів» / укл. В.К. Яцекно, В.І. Ципак, Є.Я. Коренівський та ін. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2003. – 245 с.

13. Мушарапов Д.Р. Повышение долговечности шлицевых соединений / Д.Р.Мушарапов Д.Р. // В мире научных открытий. 2014. №1. С. 26–29.

14. НПАОП 0.00–4.12–05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. [На заміну ДНАОП 0.00–4.12–99, ДНАОП 0.00–8.01–93]. К. : Держнаглядохоронпраці, 2005. 26с.– (Нормативно–правовий акт охорони праці).

15. 90/270/ЕЭС. О хвимальных требованиях безопасности при работе с дисплейным оборудованием. [Чинний від 1990–05–29]. Брюссель. : Совет Европейских сообществ, 1990. Режим доступу: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>. (Директива ; Міжнародний документ)

16. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький: підручник вид. 5–те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с. + 1 эл. опт. диск (CD–ROM). ISBN 978–617–07–0134–3.

17. ДБН В.2.5–28–2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5–28–2006 ; чинний з 2019–03–01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

ДОДАТОК А

Визначення ваги деталі та заготовок за допомогою масово-центрувальних характеристик програмного забезпечення «КОМПАС-3D»

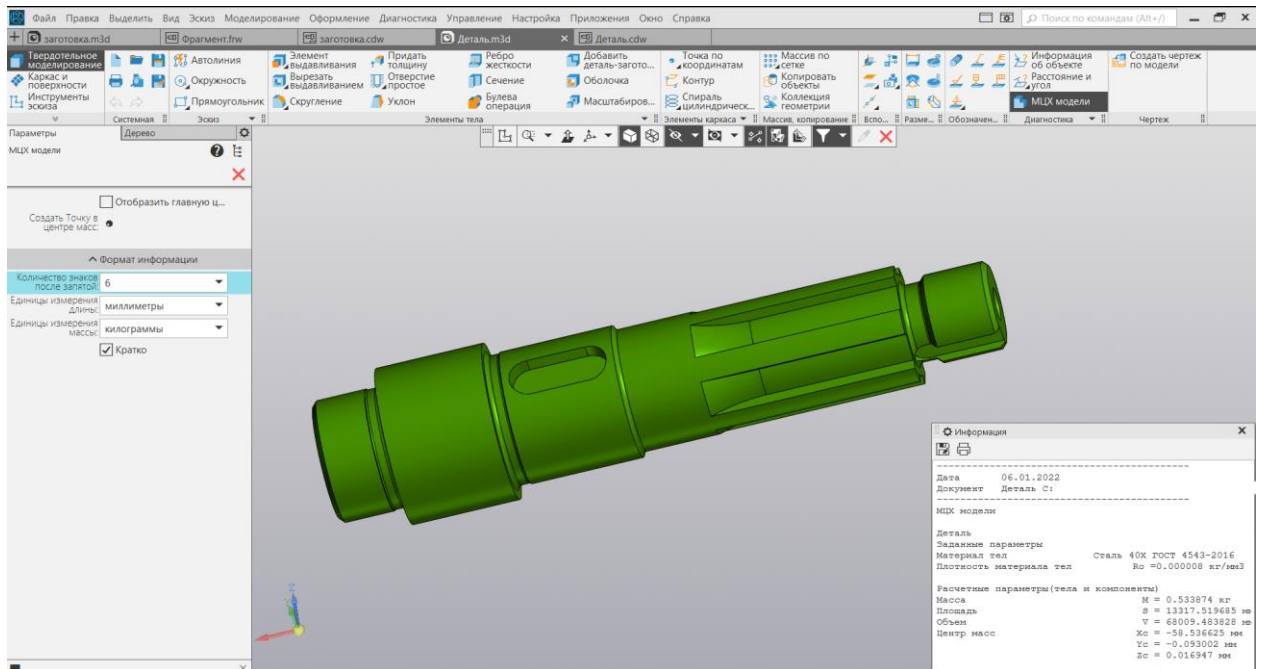


Рисунок А.1 – Визначення ваги деталі

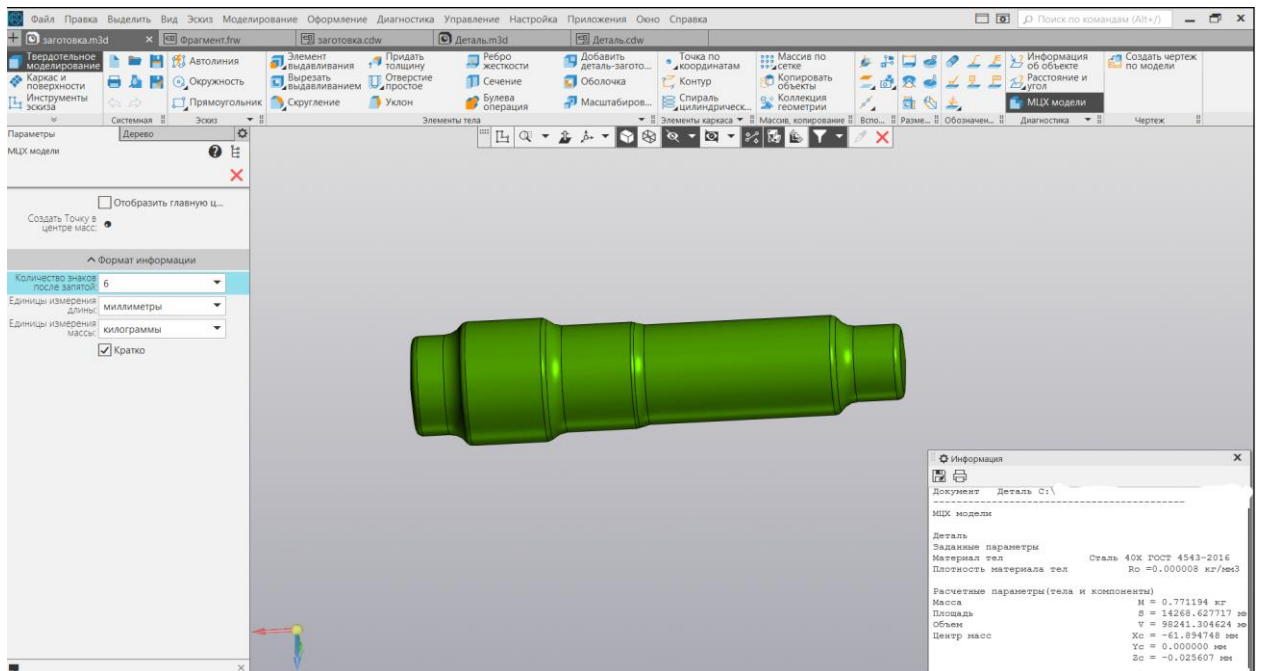


Рисунок А.2 – Визначення ваги заготовки отриманої штампуванням на КГШП

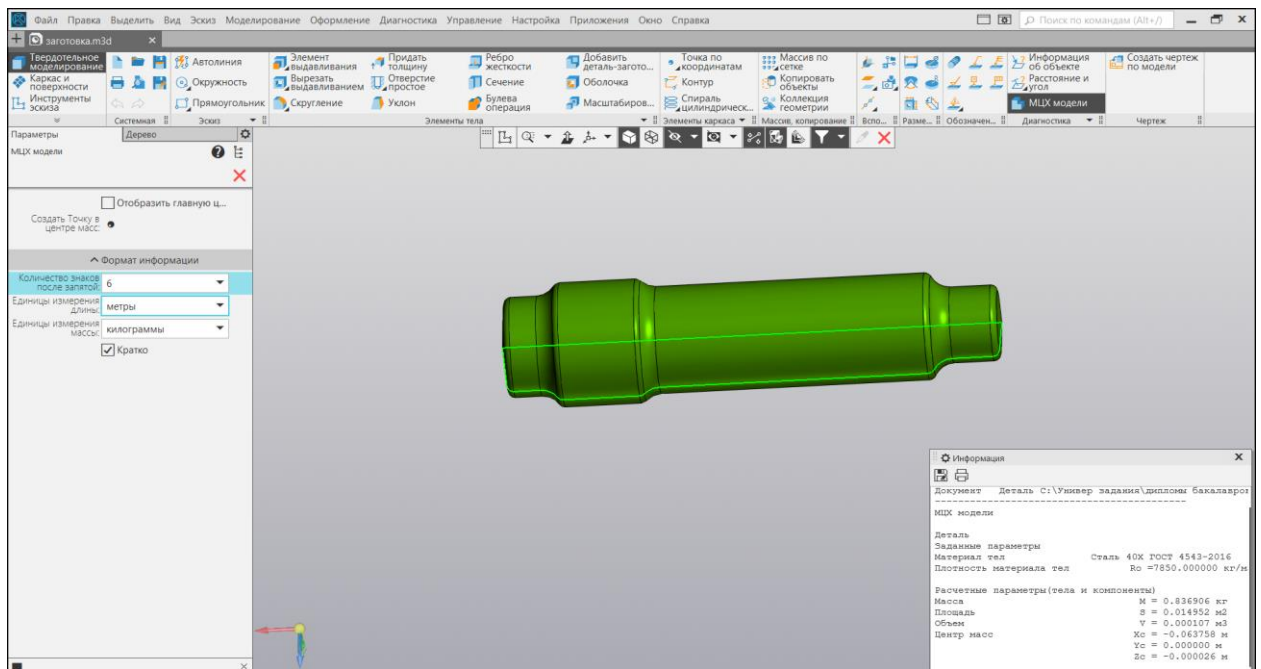


Рисунок А.3 – Визначення ваги заготовки отриманої штампуванням на молоті

ДОДАТОК Б

Специфікація робочого пристосування

Формат	Зона	Паз	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Перв. примен.				<u>Документация</u>			
				<u>Складальне креслення</u>			
	Спроб. №				<u>Детали</u>		
			1		Корпус	1	
			2		Корпус	1	
			3		Поршень	1	
			4		Шток	1	
			5		Кришка	1	
			6		Ричаг	2	
			7		Втулка	2	
			8		Клин	1	
		9		Палець	2		
		10		Штуцер	1		
	11		Штуцер	1			
Подп. и дата				<u>Стандартные изделия</u>			
		4		Болт М10х40 ГОСТ 7805-70	2		
		13		Гвинт М6х22 ГОСТ 1491-80	4		
		14		Гвинт М8х25 ГОСТ 17773-72	1		
		15		Гвинт М8х20 ГОСТ 1491-80	1		
Подп. и дата	НУЗП 293226.001						
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Инд. № подл.	Разроб.	Ерьомин					
	Проб.	Козлова					
	Н.контр.	Дядя					
	Утв.	Дядя					
				Пристосування для фрезерування шпоночного пазу	Лит.	Лист	Листов
						1	2
					НУЗП гр. М-111М		

Копиробот

Формат А4

ДОДАТОК В

Специфікація контрольного пристосування

